

**“CARACTERIZACIÓN DE HUMEDALES ALTOANDINOS PARA UNA  
GESTIÓN SUSTENTABLE DE LAS ACTIVIDADES PRODUCTIVAS  
DEL SECTOR NORTE DEL PAÍS”**

**RECURSOS HÍDRICOS**

**Parte I**

**Hidrografía del Altiplano  
Información Fluviométrica  
Información de Calidad de Aguas**

**REGIÓN DE ATACAMA**

**Ana María Bustamante Valdés**  
**Ingeniero Civil en OO.CC.**  
[abustamante@ciren.cl](mailto:abustamante@ciren.cl)

**FEBRERO - 2013**

## **1 OBJETIVO Y ALCANCE DEL INFORME DE RECURSOS HÍDRICOS**

El objetivo del presente informe es mostrar las características hidrográficas, hidrológicas y de calidad de aguas del área de estudio, a partir de información que fue recopilada y sistematizada en la Biblioteca Digital del Sistema SITHA.

Como primera actividad se realizó una revisión bibliográfica de los estudios y proyectos de recursos hídricos realizados en el área de estudio, a fin de analizar y extraer información que pueda ser útil para los objetivos de este proyecto. En el Anexo I se incluye el resultado de dicha revisión bibliográfica.

## **2 ANTECEDENTES GENERALES**

El Altiplano del norte de Chile está conformado básicamente por cuencas endorreicas (cerradas) ubicadas en la parte nor-oriental del país, al interior del cordón montañoso de los Andes, a alturas superiores a los 3.500 msnm. Se trata de cuencas sedimentarias originadas en el tectonismo y volcanismo que se observa en la zona. Las características morfológicas de estas cuencas hidrográficas, y su ubicación en un clima de extrema aridez, han favorecido la formación de una serie de salares y lagunas en su interior.

Las precipitaciones en esta zona son de origen tropical y ocurren durante los meses de enero y febrero, son conocidas como Invierno Altiplánico o Invierno Boliviano. Se caracterizan por ser precipitaciones del tipo convectivas, de alta variabilidad espacial. En Chile este fenómeno afecta al sector altoandino de las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y Atacama, teniendo una mínima influencia en esta última.

## **3 HIDROGRAFÍA EN CUENCAS DEL ALTIPLANO**

Las cuencas hidrográficas del área de estudio corresponden a unidades territoriales delimitadas por las divisorias de agua superficial, se emplazan en una franja cordillerana paralela a la línea de costa chilena, desde Visviri (cuenca de ríos Uchusuma y Caquena) hasta la altura de Copiapó (cuenca de la Laguna del Negro Francisco).

Las cuencas consideradas se encuentran ubicadas al oriente de la Cordillera Occidental (frente oeste de la Cordillera de los Andes) y varias de ellas son compartidas con países vecinos (Perú, Bolivia y Argentina). Algunas de estas cuencas tienen drenaje hacia el este, en particular en las Regiones XV y I, mientras que de ahí al sur son cuencas endorreicas cuya superficie definida por su drenaje natural está cruzada por la frontera. En el Cuadro N° 1 se incluye las principales características de estas cuencas ubicadas en la región de Atacama.

**Cuadro N° 1:** Resumen de las características de las cuencas altiplánicas región de Atacama.

Id Nombre cuenca	H Mín (msnm)	H Máx (msnm)	H Med (msnm)	Compartida	Perímetro (km)	Área (km <sup>2</sup> )
Salar de Agua Amarga	3.553	5.146	4.039	NO	177	462
Salar de la Azufrera	3.578	5.488	3.995	NO	92	250
Salar de Gorbea	3.934	5.467	4.444	NO	120	364
Cerro Blanco	3.629	4.599	4.023	NO	128	379
Quebrada La Rosa	4.204	5.001	4.454	NO	93	129
Cerro el Encanche	4.065	5.012	4.266	NO	80	176
Salar de Aguilar	3.306	5.058	3.918	NO	154	514
Salar de la Isla	3.940	5.761	4.321	NO	196	736
Salar de las Parinas	3.947	5.761	4.381	SI	166	614
Salar de Infieles	3.511	5.012	4.037	NO	116	305
C° Conito los Infieles	3.989	4.917	4.291	NO	54	76
Salar Grande	3.950	5.457	4.399	NO	189	781
Laguna de Colorados	3.874	6.080	4.424	SI	150	417
Qda. Los Maranceles	3.907	4.974	4.388	NO	64	107
Quebrada El Llano	4.423	5.754	4.761	NO	61	104
Qda. La Trinchera	4.376	5.976	4.799	NO	68	112
Laguna de las Parinas	4.286	5.754	4.663	NO	57	96
Salar de Pedernales	3.282	6.127	3.992	NO	429	3.588
La Laguna	3.494	5.573	4.200	NO	129	457
Cerro Agua de Morales	4.583	5.664	4.792	NO	58	89
Lagunas Bravas	4.216	6.080	4.612	NO	140	408
Salar de Piedra Parada	4.111	5.857	4.501	NO	110	381
Lagunas del Jilguero	4.150	5.905	4.733	NO	71	113
Laguna del Bayo	4.229	6.127	4.874	SI	106	317
Sierra Nevada	4.629	6.127	5.101	SI	74	142
Laguna Escondida	4.353	6.532	4.839	SI	100	217
Wheelwright	4.217	6.146	4.668	NO	100	292
Quebrada Las Amarillas	4.542	6.532	4.893	SI	101	184
Salar de Maricunga	3.738	6.749	4.295	NO	351	2.195
Piedra Pómez	4.340	6.749	4.910	NO	217	919
Laguna Verde	4.329	6.893	4.913	NO	203	1.002
Lag. Negro Francisco	4.110	6.052	4.547	NO	192	905

Fuente: LEVANTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO PARA EL DESARROLLO DE NUEVAS FUENTES DE AGUA EN ÁREAS PRIORITARIAS DE LA ZONA NORTE DE CHILE, REGIONES XV, I, II Y III. ETAPA 1. INFORME FINAL PARTE I. Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile. S.I.T. N° 157. Diciembre de 2008.

A continuación, se presenta una breve descripción de estas cuencas, su hidrografía y principales características de relieve.

### 3.1 Región III de Atacama

- 3.1.1 Salar de Agua Amarga: Situada en el extremo norte de la Región de Atacama, en el límite con la Región de Antofagasta y al sur del salar de Pajonales. Tiene una superficie de 462 km<sup>2</sup> y una altura media de 4.039 msnm. Al sur limita con los salares de Aguilar y de la Isla y al oeste tiene la cuenca cerrada de Cerro Blanco, las que están separadas por el cordón de la Cordillera Domeyko, en el que se encuentra inserta esta última. La cuenca exorreica de Tal Tal también se encuentra al Oeste del salar de Agua Amarga, desembocando en la localidad que le da su nombre. Según el mapa geológico, la cuenca es casi enteramente volcánica. El salar ubicado al centro es una costra de yeso con "ojos" al norte y pequeñas lagunas superficiales mal definidas en las orillas este y sur. Según los mapas del IGM el salar rodea una laguna de gran extensión, sin embargo de acuerdo a visitas a terreno realizadas por el Convenio IRD – DGA – UCN la laguna no existe, correspondiendo a parte de la costra teñida de marrón por la tierra. De acuerdo a la cartografía revisada, el Llano Blanco ubicado al norponiente del salar recibiría los aportes de varias quebradas intermitentes provenientes del norte de la cuenca, además de la quebrada Cerro Blanco que cae baja desde el Oeste.
- 3.1.2 Salar de la Azufrera: Se encuentra en el límite norte de la Cordillera de los Andes en la Tercera Región, también limitando con la Región de Antofagasta, específicamente con la cuenca del salar de Pajonales. Al poniente de la cuenca se encuentra el Salar de Agua Amarga. El salar de la Azufrera puede ser confundido por su nombre con la cuenca de la Laguna Azufrera, ubicada en la II Región. Esta cuenca endorreica tiene una superficie de 250 km<sup>2</sup> y una elevación media de 3.995 msnm. El salar está ubicado hacia el sur de la cuenca y corresponde a una costra de yeso, en el que se desarrollan dos pequeñas lagunas en la orilla oeste. Desde el este desciende la quebrada Azufre Quemado, cayendo en el salar al sur del Llano Plato de Sopa. En su orilla oeste recibe muy poca agua superficial a través de una vertiente difusa.
- 3.1.3 Salar de Gorbea: Corresponde a la cuenca endorreica que se encuentra más al norte de la Región de Atacama, limitando por el norte con la Región de Antofagasta, al oriente con Argentina y al poniente con la hoya del Salar de la Azufrera. Esta hoya hidrográfica posee una superficie de 364 km<sup>2</sup>, que en su mayoría corresponde a sectores rocosos y de lava, con una elevación media 4.444 msnm. El salar propiamente tal tiene una superficie de 27 km<sup>2</sup> y se

encuentra en el sector poniente de la cuenca. Su alimentación hídrica es a través de varias quebradas intermitentes que descienden desde el este y desde el sur. En su interior se encuentran una serie de lagunas que son casi todas "ojos" de unos metros de profundidad. Más al sur existe un pequeño salar, de nombre Salar Ignorado, que aparece casi como una sub-cuenca del salar de Gorbea.

- 3.1.4 Cerro Blanco: Está ubicada al sur y poniente de la cuenca del salar de Agua Amarga, en plena Cordillera Domeyko; al oeste de ésta se encuentra la cuenca exorreica de Tal Tal. La hoya hidrográfica de Cerro Blanco tiene una superficie de 379 km<sup>2</sup> y su altura media es de 4.023 msnm. Su nombre se debe al cerro que la separa del salar con el que colinda en el norte. La cuenca no forma salar ni laguna en su interior, sin embargo su hidrografía está conformada por numerosas quebradas que fluyen por las laderas de las cumbres occidentales y desde el sur hacia la cota de la depresión principal. Estas quebradas aparecen normalmente inactivas y según la cartografía desaparecen en el llano ubicado en el centro.
- 3.1.5 Quebrada La Rosa: Esta cuenca endorreica es una pequeña hoya ubicada entre los salares de Gorbea por el norte y el salar de la Isla por el sur. Su superficie alcanza los 129 km<sup>2</sup> y tiene una altura media de 4.454 msnm, con una forma alargada Oeste – Este. Al oriente limita con Argentina. La quebrada La Rosa, de carácter intermitente, baja por la ladera del cerro del mismo nombre en el poniente de la cuenca y cae en el llano que queda al oeste de esta hoya hidrográfica.
- 3.1.6 Cerro el Encanche: Se encuentra en el borde occidental de la franja altiplánica de la III Región de Atacama, al Sur de la cuenca de Cerro Blanco y al Norte del salar de Infielos. Por estar en esta posición limita al poniente con las cuencas de la quebrada Pan de Azúcar y del Río Salado, que bajan por la depresión central y desembocan en el mar. Tiene una forma alargada de Norte a Sur, con poca diferencia de cota entre su valor mínimo y máximo en relación a las otras cuencas de su tipo; su altura mínima está en los 4.065 msnm y la media en 4.266 msnm. Es por esta misma razón la que tiene una pendiente media menor (es más homogénea en términos de relieve) en toda la Región, zona que corresponde al sur del llano de Domeyko.
- 3.1.7 Salar de Aguilar: Es una cuenca endorreica que forma un importante salar en esta Región, tiene una superficie de 514 km<sup>2</sup> y una altura media de 3.918

msnm. Se encuentra inserta entre otras cuencas de la franja que conforman la Puna de Atacama, limitando con otros de los salares más importantes de esta zona, como son el de la Isla y Grande. La depresión que aloja al salar se encuentra ocupando la parte baja de la cuenca, ubicada en el centro de una hoya hidrográfica que no tiene una forma geométrica definida. La costra de sal ocupa cerca del 15% del área total y es rugosa con un color marrón. El salar de Aguilar recibe algunos aportes intermitentes de quebradas, principalmente provenientes del sector noreste y este donde destaca la quebrada Juan de la Vega. Por el oeste destaca la quebrada El Enganche.

3.1.8 Salar de la Isla: Esta hoya hidrográfica se encuentra al oriente del Salar de Aguilar y limitando por el Este con la frontera con Argentina, en la Sierra de Aguas Blancas, y con la cuenca compartida denominada Salar de las Parinas. Con una superficie de 736 km<sup>2</sup>, esta cuenca alcanza alturas que sobrepasan los 5.700 msnm, teniendo una elevación media de 4.325 msnm. La cuenca de drenaje del salar de la Isla es exclusivamente volcánica con importantes yacimientos de azufre al noreste. Respecto de su alimentación podemos decir que la gran mayoría de sus tributarios provienen del sector norte, descendiendo desde los cordones montañosos existentes a ambos lados del salar. La costra propiamente tal se orienta en dirección norte sur, con un angostamiento en el centro y la parte norte más ancha. Su superficie compromete poco más del 20% del área total de la cuenca. De acuerdo a la cartografía y las otras referencias revisadas, existen algunas lagunas de considerable extensión en la zona al norte del angostamiento del salar, las que son alimentadas por afloramientos permanentes en el borde del área del salar.

3.1.9 Salar de las Parinas: Es una cuenca compartida con Argentina ubicada en el sector norte de la Región, al Este del Salar de la Isla y del Salar Grande, tiene una superficie de 614 km<sup>2</sup> y una altura media de 4.381 Km<sup>2</sup>. Su base de equilibrio o salar, de unos 40 km<sup>2</sup>, se encuentra en territorio nacional, y a él convergen las quebradas que lo alimentan en su mayoría desde el cordón del Este (cerros de León Muerto y cerro Aguas Blancas). No hay evidencia de aportes al salar desde zonas altas, todos estos afloran en la orilla donde alimentan lagunas someras y de extensión variable. El sur y este de la zona donde se encuentra la costra son según las imágenes satelitales donde se concentran estas pozas superficiales.

- 3.1.10 Salar de Infieles: Esta cuenca cerrada se ubica al norte del Salar de Pedernales, su altura media se estimó en los 4.037 msnm y su superficie es de 305 km<sup>2</sup>. Al igual que la cuenca de Cerro El Encanche, que se encuentra al norte de ésta, tiene al poniente las cuencas de la quebrada Pan de Azúcar y del Río Salado, que se desarrollan en la depresión central. La geología de la cuenca está constituida exclusivamente por formaciones volcánicas. Su pequeño salar de casi 7 km<sup>2</sup> es una costra de yeso, con pocas y pequeñas pozas, que aparentan ser más afloramiento de napa que lagunas. La depresión ubicada en el centro – poniente de la hoya hidrográfica es alimentada por pequeñas quebradas que descienden desde el Cordón Conito de los Infieles proveniente desde el Oriente.
- 3.1.11 Cerro Conito de los Infieles: Cuenca cerrada, rodeada por los salares de Aguilar, Grande y de Infieles, con una superficie de 76 km<sup>2</sup> y una altura media de 4.291 msnm. Es pequeña en comparación con sus vecinas y no forma salar ni laguna. La depresión aparece rellena con sedimentos que se ordenan de acuerdo al sencillo patrón de drenaje, de sur a norte. La cadena de cerros Cordón Conito de los Infieles es el relieve más importante, que define el límite poniente de su hidrografía y separa a esta cuenca de los salares de los Infieles (Sur) y del de Aguilar (Norte).
- 3.1.12 Salar Grande: Se encuentra en la Cordillera de los Andes de la Tercera Región, a diferencia del otro salar Grande existente en la Cordillera de la Costa de la Primera Región. Su extensión es de 781 km<sup>2</sup> y limita al norte con los salares de la Isla y de Aguilar. El resto de su perímetro está cercado en su mayoría por cuencas endorreicas menores, que se desarrollan en la Puna de la Región de Atacama. La elevación media de la cuenca es de 4.399 msnm y su depresión se desarrolla al oriente del Cerro del salar Grande. El salar propiamente tal es una "lengua" que tiene orientación Norte – Sur por unos 11 km de longitud y unos 3 km de ancho, y corre entre el Cerro Negro y el Cerro que lleva el nombre del salar. Esta "costra" es de tipo playa, con sedimentos salinos recubiertos en la parte sur por un sistema complejo de lagunas superficiales. Al poniente de éste y al norte del Cerro del Salar Grande se desarrolla una planicie que corresponde a un relleno sedimentario (Formación Gravas de Atacama), donde se infiltran las quebradas intermitentes que bajan desde el norponiente. Las quebradas más importantes en esta hoya hidrográfica son la quebrada Morales, Blanda y Ancha por el norte, y la quebrada las Pircas por el oriente. Varios otros afluentes al salar se

distinguen en el relieve, sin embargo son todos intermitentes, que no existen como cursos superficiales durante la estación seca.

- 3.1.13 Laguna de Colorados: La cuenca de Laguna de Colorados se encuentra casi completamente en Argentina, al este de las cuencas del salar de las Parinas y de Quebrada la Trinchera. Una pequeña parte de la cuenca se encuentra en territorio chileno (menor al 10%), con la quebrada Honda que drena hacia el Este. La cuenca tiene una forma alargada en dirección norte - sur, en que la parte chilena está en el centro - sur. Su mayor altura define el límite entre ambos países y corresponde al Cerros Colorados (Cumbre Negra), con 6.080 msnm. El salar también recibe el nombre de León Muerto.
- 3.1.14 Quebrada Los Maranceles: Se encuentra rodeada por grandes cuencas de la Puna de Atacama (salares de Pedernales, Infieles y Grande), siendo ésta de un tamaño menor en comparación. Esto ha hecho que en algunas referencias haya sido incluida como parte de alguna de sus vecinas. Su superficie es de 107 km<sup>2</sup> y tiene una altura media de 4.388 msnm. Aquí no se forma laguna ni salar, sin embargo en la cartografía IGM aparece la presencia de un salar en el sector poniente de la depresión de la cuenca. De acuerdo a las imágenes satelitales este sector corresponde a un relleno sedimentario con forma de delta, creado por el desplaye de la quebrada Los Maranceles, que a su vez recibe a la quebrada La Punilla. Estas tienen una dirección Este – Oeste.
- 3.1.15 Quebrada El Llano: Es una cuenca cerrada de 104 km<sup>2</sup>, con una altura media de 4.761 msnm, cuyo relieve más característico es el Nevado León Muerto que separa esta cuenca del salar de las Parinas. Debido a su elevada altura media y a su latitud, su cobertura nival es más frecuente que en otras de las cuencas endorreicas descritas. En esta hoya hay tres quebradas que son identificadas en la cartografía IGM y que convergen a la depresión que está a los pies del cerro Gemelos o Dos Puntas al nororiente. Estas quebradas son Tres Puntas (S – N), Los Medanos (SO – NE) y El Llano (O – E).
- 3.1.16 Quebrada La Trinchera: La cuenca de la quebrada La Trinchera se encuentra cercana al límite con Argentina, al este de la cuenca de la Quebrada El Llano. Una proporción menor de esta hoya hidrográfica pertenece al país vecino. Al igual que la cuenca anterior, de la quebrada El Llano, ésta no forma laguna ni salar, en particular porque cuenta con una depresión con poca superficie en relación a su área total de 112 km<sup>2</sup>. Esta depresión se encuentra al norte de la cuenca, y recibe los aportes de las quebradas intermitentes de El Bajo y La

Trinchera. Esta última es la de mayor longitud, que tiene su cabecera en territorio argentino y drena el sector sur de la cuenca, desarrollándose con una dirección Sur – Norte.

- 3.1.17 Laguna de las Parinas: Esta cuenca está rodeada por las cuencas del salar Grande (Norte y Oeste), la quebrada El Llano (Norte y Este) y la de Lagunas Bravas (Sur). Su superficie alcanza los 96 km<sup>2</sup> y su elevación media es de 4.663 msnm. Usualmente las altas cumbres que rodean esta cuenca se encuentran nevadas, lo que permitiría sustentar a la pequeña laguna de unas 9 há que da el nombre a la cuenca. Las principales quebradas que convergen a la concavidad en el centro de esta unidad son Tres Puntas y Ancha, que bajan de las laderas del Nevado León Muerto (5,754 msnm).
- 3.1.18 Salar de Pedernales: La hoya del salar de Pedernales es la cuenca cerrada de mayor superficie en la III Región, con una extensión de 3.588 km<sup>2</sup>. Ubicada al oriente de la cuenca exorreica del río Salado, está separada de ésta por la Cordillera de Domeyko, que en esta zona tiene unos 200 m de espesor. Desde hace unos 70 años (década del '30) la cuenca cuenta con una obra de descarga hacia la parte alta de la hoya del río Salado, por lo que en rigor ya no es una cuenca endorreica. Otra unidad morfológica que la separa de las cuencas de la depresión central es la Sierra Bora, que constituye el límite más al sur. La altitud media de esta unidad es de 3.992 metros, siendo sus más altas cumbres superiores a los 6.000 msnm. Como ocurre con todas las grandes cuencas, ésta se caracteriza por importantes variaciones morfológicas, climatológicas y geológicas. Su geología es una mezcla de terrenos sedimentarios, de formaciones volcánicas y de rocas plutónicas. El salar mismo es también el más grande de esta Región, cubre una superficie de unos 326 km<sup>2</sup> y corresponde a una costra de yeso y halita, con pocas y pequeñas lagunas generalmente pegadas a las orillas. Las lagunas ubicadas al noreste son profundos "ojos" en la costra de sal, las demás son superficiales. El salar se encuentra pegado al límite occidental de la cuenca, en su extremo norte. La pendiente general de esta hoya hidrográfica conduce a esta depresión, con el río La Ola como su tributario superficial más importante corriendo de sur a norte y, desde el llano La Ola, con una inclinación de unos 45° hacia el Este. Aguas arriba de este cambio de dirección ubicado al oriente del cerro Punta Negra, el río recibe algunos tributarios, principalmente desde el este, donde destacan el río Leoncito y el río Juncalito, ambos de escurrimiento permanente.

- 3.1.19 La Laguna: Esta cuenca endorreica se encuentra al Este de la parte Norte del salar de Pedernales, la separa de ésta los cerros Portezuelo del Bajo y La Nuez (Salar Norte). Su superficie es de 457 km<sup>2</sup> y tiene una altura media de 4.200 msnm. El salar se encuentra al poniente de la cuenca, ocupando la mitad más septentrional donde se encuentra el punto más bajo de esta hoya hidrográfica. Desde el oriente (Cordón Azufrera Tres Puntas y Panteón) bajan numerosas quebradas que convergen a esta zona de baja pendiente. Destacan la quebrada Honda de las Pircas por el norte, la quebrada del Burro Norte por el centro y la quebrada Panteón de Aliste por el sur, que luego de caer al valle se alinea en dirección al norte para caer en el salar.
- 3.1.20 Cerro Agua de Morales: Esta es una cuenca de 89 km<sup>2</sup> ubicada al este de La Laguna y al sur del salar Grande. Tiene una altura media de 4.792 msnm y una forma alargada SE – NO. La quebrada La Azufrera nace en el Cordón Azufrera Tres Puntas, en el límite norponiente, y cae en la depresión a los pies del cerro Agua de Morales, donde se encuentra la depresión principal. Otra depresión se encuentra en la parte Norte de la cuenca, separada de la sur por la ladera del cerro Punta del Viento.
- 3.1.21 Lagunas Bravas: Se encuentra limitando con Argentina al Este, donde tiene una parte de su superficie, y al Sur del salar Grande y el salar de las Parinas. Su área es de 408 km<sup>2</sup> y tiene una altura media de 4.612 msnm. Al interior de la cuenca hay varios cerros islas, que interfieren o definen en definitiva los patrones de escurrimiento. Algunos de estos son Pajonales, Morado y Lagunas Bravas. Las 3 lagunas que se desarrollan en esta cuenca están conectadas y alineadas de Norte a Sur, misma dirección que la pendiente de la cuenca. La mayor de ellas es la que se encuentra más meridional, con una superficie cercana a los 8 km<sup>2</sup>, mientras la que la sigue en tamaño bordea apenas el km<sup>2</sup>. Algunas quebradas bajan durante la época húmeda desde el norte de la cuenca para infiltrarse en el sector de la Pampa Amarilla. La más importante de éstas es la quebrada Barrancas Blancas, seguida de la quebrada Pedregosa.
- 3.1.22 Salar de Piedra Parada: Se ubica limitando al poniente con las cuencas de La Laguna y del salar de Pedernales, con esta última también limita al Sur. Tiene un área de 381 km<sup>2</sup> y una altura media de 4.501 msnm. El salar se encuentra en el centro – oriente de la cuenca y tiene una superficie aproximada de 27 km<sup>2</sup>, tiene una forma alargada O – E y parece haber estado

conectada con Lagunas del Jilguero en el oriente. El drenaje al salar es por el Oeste, Norte y Sur. La única quebrada con nombre que aparece en la cartografía del IGM es por este último flanco y se llama quebrada del Negrito.

- 3.1.23 Lagunas del Jilguero: La cuenca de Lagunas del Jilguero se encuentra al oriente de la del salar de Piedra Parada y, como se menciona en la descripción de ésta, sus lagunas parecen haber estado conectadas en algún momento. Al Sur de esta cuenca se encuentra el salar de Pedernales, que se extiende hacia el oriente alcanzando un vértice en la Sierra Nevada, punto que hace de límite con Argentina. El área de esta cuenca es de 113 km<sup>2</sup> y su altura media es de 4.733 msnm. Al interior de la cuenca se desarrollan 2 lagunas, la más occidental es la que se uniría a la del salar de Piedra Parada. La otra se encuentra muy cercana, al Este de la primera. De acuerdo al estudio de geoquímica en cuencas cerradas (SIT N° 51), ambas lagunas se unirían durante épocas de mayor abundancia de precipitaciones, debido al relieve de baja altura que las separa.
- 3.1.24 Laguna del Bayo: Esta cuenca endorreica se encuentra con una parte en territorio chileno, pero su mayor superficie (cerca del 75%) se encuentra en territorio argentino. La frontera pasa de Norte a Sur uniendo los cerros Tridente y Sierra Nevada, que también son parte del límite de esta cuenca en el Norte y Sur, respectivamente. La superficie de esta unidad es de 317 km<sup>2</sup> y su altura media alcanza los 4.874 msnm. La laguna propiamente tal se encuentra en territorio chileno, a unos 800 m de la frontera, pero sus aportes provienen en su mayoría desde el lado este, en Argentina. Lejos de ser una laguna somera, la laguna es más similar a un pequeño lago, de mayor profundidad aunque ésta se desconoce.
- 3.1.25 Sierra Nevada: Esta hoya hidrográfica se encuentra al Sur de la Laguna del Bayo y al Este de la gran cuenca del salar de Pedernales. La mayor parte de su superficie se encuentra en Chile, siendo una cuenca compartida con una porción en el nororiente ubicada en Argentina. Todo el límite norte de la cuenca está definido por la Sierra Nevada de Lagunas Bravas, un bloque que une la cumbre de dos grandes cerros en este sector, Sierra Nevada y Cumbre del Laudo, separados por poco más de 6 km. La superficie total de la cuenca es de 142 km<sup>2</sup> y su altura media de 5.101 msnm. Esta cuenca no tiene laguna ni salar en su depresión. Por su altura media y latitud se encuentra frecuentemente con nieve.

- 3.1.26 Laguna Escondida: La cuenca de la Laguna Escondida es también una cuenca compartida con Argentina, de características endorreicas, cuya base de equilibrio se encuentra en Chile. Su ubicación es al Oriente de la cuenca de Sierra Nevada y de Wheelwright. La superficie de esta hoya hidrográfica es de 217 km<sup>2</sup> y su altura media de 4.839 msnm. La laguna se encuentra a los pies del cerro Laguna Escondida, al occidente, en el fondo de una ladera de gran pendiente. Comparte con la Laguna del Bayo la característica de recibir aportes de quebradas que nacen al otro lado de la frontera.
- 3.1.27 Wheelwright: Se encuentra emplazada al Este de la parte Norte de la cuenca del salar de Pedernales, de la que la separa el Cordón del Salar de Eulogio, y al Sur de las cuencas de Sierra Nevada y Laguna Escondida, donde se encuentran los relieves Cordón Rayado y Cordón Amarillo. La hoya tiene una superficie de 292 km<sup>2</sup> y una altura media de 4.668 msnm. El salar es de tipo "playa" y contiene algunas lagunas de baja profundidad ubicadas en los bordes. Estas son alimentadas por algunas vertientes de características difusas y permanentes que afloran muy próximas a ellas. Destacan las quebradas de la Laguna que fluye de Norte a Sur, del Camino que lo hace en sentido Este – Oeste y Pirca de Indio y Ermitaño en sentido Sur - Norte. La laguna recibe también el nombre de Eulogio.
- 3.1.28 Quebrada Las Amarillas: Se ubica al Este de la cuenca Wheelwright y al Sur de la cuenca de Laguna Escondida. Su depresión principal se encuentra en Chile y una parte de su superficie en Argentina, donde nace la quebrada Las Amarillas que da nombre a la cuenca. Esta hoya no forma laguna ni salar y en su depresión, la Pampa de los Amarillos, se infiltran las aguas que bajan desde las laderas de los cerros que la rodean. Esta área se encuentra en el centro – sur de la cuenca, hacia donde drena además la quebrada Los Barriales de Norte a Sur. La superficie de la cuenca es de 184 km<sup>2</sup> y su altura media es de 4.893 msnm.
- 3.1.29 Salar de Maricunga: La hoya hidrográfica del salar de Maricunga tiene una superficie de 2.195 km<sup>2</sup>, siendo la segunda más importante de la Región de Atacama en este sentido y una de las mayores del Altiplano – Puna de Chile. Se encuentra al sur de Pedernales y se ha considerado en otros estudios incluyendo a su vecina oriental, la cuenca de Piedra Pómez. Su altura media es de 4.295 msnm y el salar propiamente tal se encuentra ocupando la mitad norte de la cuenca, con su borde occidental a unos 7 km de la divisoria que la

separa de la cuenca de Copiapó. La forma del salar es alargada de Norte a Sur, angostándose considerablemente desde la mitad hacia el sur. Su superficie aproximada casi alcanza los 140 km<sup>2</sup>. Existen varias quebradas de importancia que alimentan el salar, provenientes en su mayoría desde el sur y sureste de la cuenca, las que infiltran en el Llano de Ciénaga Redonda. Pueden mencionarse entre estas las quebradas La Coipa, Pastillos, Ciénaga Redonda y Colorado, además del río Lamas o Lomas. Al sur del salar se encuentra la Laguna Santa Rosa, que se alimenta de los afloramientos de agua subterránea, y que se desagua a través de un curso superficial que corre por el borde poniente del salar en forma permanente, hasta la laguna que está casi en el centro de la costra. Otras pozas de menor importancia se encuentran en los borde del salar, tanto por el este como por el oeste, alimentadas por afloramientos subterráneos.

3.1.30 Piedra Pómez: La cuenca de Piedra Pómez se encuentra al este de la del salar de Maricunga y se ha considerado en algunos estudios como parte de ésta, dado que no existe otra de su tamaño que no forme laguna ni salar en su depresión. Las aguas que se infiltran en este punto estarían fluyendo hacia su mentada vecina. Como la delimitación que se hace en este estudio es de tipo superficial, se han puesto de forma separada, dado que los antecedentes revisados indican que existe independencia. El cerro Los Portezuelos se emplaza en la zona de posible conexión superficial, cerrando la divisoria entre el Nevado Tres Cruces y la parte Sur de la Cordillera Claudio Gay. Esta cuenca posee una superficie de 191 km<sup>2</sup> y una altura media de 4.910 msnm, las alturas de esta unidad fluctúan entre los 4.340 y los 6.749 en el Nevado Tres Cruces. Las más importantes quebradas que desembocan en la depresión son Nevados del Juncalito y Piedra Pómez, que bajan de norte a sur y en la última parte de su recorrido tornan hacia el poniente.

3.1.31 Laguna Verde: La cuenca de Laguna Verde tiene limitando al Oeste la de Piedra Pómez y al Este con Argentina, definiendo en parte la frontera. Su superficie es de 1.002 km<sup>2</sup> y tiene una altura media de 4.913 msnm, con la laguna ubicada al norte del cerro Mulas Muertas que se emplaza en el centro de la cuenca. La laguna ocupa el fondo de un profundo valle casi circular, rodeado de volcanes que normalmente están cubiertos de nieve (Nevado Ojos del Salado, El Muerto y el Nevado Incahuasi). Otra depresión se encuentra al poniente de la laguna y corresponde a un relleno sedimentario donde afloran también parte de las aguas subterráneas infiltradas aguas arriba en el oeste

de la cuenca. El río Peñas Blancas nace en esta zona, en la descarga de la quebrada del mismo nombre que cae desde el cerro Peña Blanca al Norte. Las aguas corren en la depresión de oeste a este para desembocar en la laguna. El río Peñas Blancas es alimentado además por la quebrada Barrancas (O – E) y la quebrada Ojos del Salado (S - N), que a su vez recibe a la quebrada Mulas Muertas que drena parte del sur de la cuenca. Otras quebradas y arroyos caen por el oeste a la laguna salada de unos 15 km<sup>2</sup>, como el arroyo Agua Dulce y las quebradas San Francisco y El Fraile, las que se infiltran en la depresión previa y generan afloramientos aguas abajo. A su vez estos sustentan algunas lagunas menores en el borde.

3.1.32 Laguna del Negro Francisco: Es la cuenca más austral del Altiplano – Puna de Chile, cerrando la franja que se ha definido casi continuamente desde la Primera a la Tercera Región. Dos discontinuidades se producen en esta meseta en la parte chilena, la primera abarca la cabecera del río Loa y la segunda el Sur del Salar de Atacama y centro del Salar de Punta Negra, ambas en la Región de Antofagasta. Más al Sur, todas las cuencas cordilleranas están abiertas hacia el océano Pacífico. Esta unidad se encuentra inserta en la Cordillera de los Andes de la III Región, al sur de Maricunga, con la que también limita al este en su mitad septentrional. Al poniente de ésta se encuentra la subcuenca del río Figueroa, que pertenece a la cuenca del río Copiapó. La superficie de Laguna del Negro Francisco es de 905 km<sup>2</sup> y su altura media 4.547 msnm. Hidrograficamente es una hoya endorreica, con una depresión en el centro que se ha llamado Llano del Negro Francisco (S) y Llano del Azufre (N). En el sector Sur-Poniente del Llano se encuentra la laguna propiamente tal. El relieve de la cuenca está dado por varios cerros y sierras que la cercan a su alrededor; por el lado este se encuentran de Norte a Sur la Sierra Azufre, la Sierra de la Sal y la Sierra Colorada, mientras todo el borde suroeste de la cuenca es ocupado por el Cordón Darwin. En el área de la laguna se encuentran dos espejos de agua, separados por un pequeño relieve que tendría un origen aluvial. La laguna norte, de mayor tamaño, es salada y la laguna sur es salobre y tiene pocos centímetros más de cota respecto a su vecina a la que drena a través de una conexión que existe en el sur. De acuerdo a estudios que se han efectuado en el tiempo, ambas lagunas tienen una importante variación histórica en su superficie y profundidad, en particular la norte. El principal aporte a la laguna es el río Astaburuaga, que drena el sureste de la cuenca, infiltrándose en el llano que la precede para contribuir de forma subterránea.

## 4 INFORMACIÓN FLUVIOMÉTRICA EN CUENCAS DEL ALTIPLANO

Para una adecuada descripción de los escurrimientos en las cuencas altiplánicas chilenas es necesario contar con un número suficiente de series de caudales a nivel mensual y anual. Sin embargo en algunas cuencas altiplánicas no se cuentan con estaciones fluviométricas provocando que la información disponible en esa zona sea escasa.

Los datos de escurrimientos que se utilizan en los estudios Hidrológicos e Hidrogeológicos son obtenidos a través de la Dirección General de Aguas (DGA). En el Departamento de Hidrología de la DGA está la información histórica a nivel mensual existente en el Banco Nacional de Aguas (BNA).

En el Cuadro N° 2 se incluye el código, nombre, coordenadas de ubicación, altura sobre el nivel del mar y vigencia de las estaciones fluviométricas identificadas al interior del área de estudio e incluidas en las bases de datos del proyecto SITHA. Se observa que en general la información de escurrimientos dentro de las cuencas altiplánicas es escasa.

**Cuadro N° 2:** Estaciones fluviométricas identificadas al interior del área de estudio e incluidas en las bases de datos del proyecto SITHA. Región de Atacama.

COD_BNA	NOMBRE	ESTE_84	NORTE_84	ALTITUD	VIGENCIA	SEDIMEN TO	REGIMEN_HID	ESTUDIO
03022001-3	RIO LA OLA EN VERTEDERO	494018	7070682	3587	VIGENTE	NO		III Region
03041005-K	RIO LAMAS EN EL SALTO	506693	7004322	4298	VIGENTE	NO		III Region
03041004-1	RIO VALLE ANCHO EN LA BARRERA	499709	6998452	4092	VIGENTE	NO		III Region
03041002-5	RIO VILLALOBOS EN VERTEDERO	497317	6990754	3850	VIGENTE	NO		III Region
03041001-7	RIO BARROS NEGROS ANTES JUNTA VALLE ANCHO	500041	6983923	3965	VIGENTE	NO		III Region
03041003-3	RIO VALLE ANCHO ANTES JUNTA BARROS NEGROS	499435	6983687	3950	VIGENTE	NO		III Region
03050001-6	RIO ASTABURUAGA EN CONO	495319	6962262	4130	VIGENTE	NO		III Region
03404001-K	RIO JORQUERA EN VERTEDERO	405766	6897284	1245	VIGENTE	SI	Pluvio-nival	III Region
03414001-4	RIO PULIDO EN VERTEDERO	407374	6892589	1317	VIGENTE	SI	Nival	III Region
03421002-0	RIO MANFLAS ANTE JUNTA CON RIO COPIAPO	401588	6887242	-99	SUSPENDIDA	NO		III Region
03421001-2	RIO MANFLAS EN VERTEDERO	402175	6885669	1551	VIGENTE	NO	Nival	III Region
03806001-5	RIO TRANSITO ANTES JUNTA RIO CARMEN	355240	6818481	777	VIGENTE	NO	Nival	III Region
03815001-4	RIO CARMEN EN RAMADILLAS	355079	6817404	782	SUSPENDIDA	NO	Nival	III Region
03804003-0	RIO HUASCO EN CHANCHOQUIN	373915	6807230	-99	SUSPENDIDA	NO		III Region
03804004-9	RIO TRANSITO EN EL TRANSITO	374629	6805729	-99	SUSPENDIDA	NO		III Region
03802002-1	RIO CONAY EN JUNTA LAGUNA GRANDE	395779	6804091	-99	SUSPENDIDA	NO		III Region

03815002-2	RIO CARMEN EN PTE. LA MAJADA	357676	6798299	1075	VIGENTE	NO		III Region
03804002-2	RIO TRANSITO EN ANGOSTURA PINTE	378157	6797486	1000	VIGENTE	NO	Nival	III Region
03814001-9	RIO CARMEN EN SAN FELIX	357796	6797407	812	SUSPENDIDA	NO	Nival	III Region
03802001-3	RIO CONAY EN LAS LOZAS	392481	6797102	1560	VIGENTE	NO		III Region
03804001-4	RIO TRANSITO EN LOS TAMBOS	381226	6796563	1400	SUSPENDIDA	NO		III Region
03814003-5	RIO CARMEN EN EL CORRAL	362217	6778683	2000	VIGENTE	NO		III Region

La información recopilada y sistematizada durante el estudio permitió generar bases de datos de caudales medios mensuales y las curvas de variación estacional para distintas probabilidades de excedencia, los cuales se incluyen en el Cuadro N° 3 siguiente y Figuras N° 1 a Figuras N° 2.

**Cuadro N° 3:** Caudales Medios Mensuales (m<sup>3</sup>/s) en las estaciones fluviométricas de la región de Atacama.

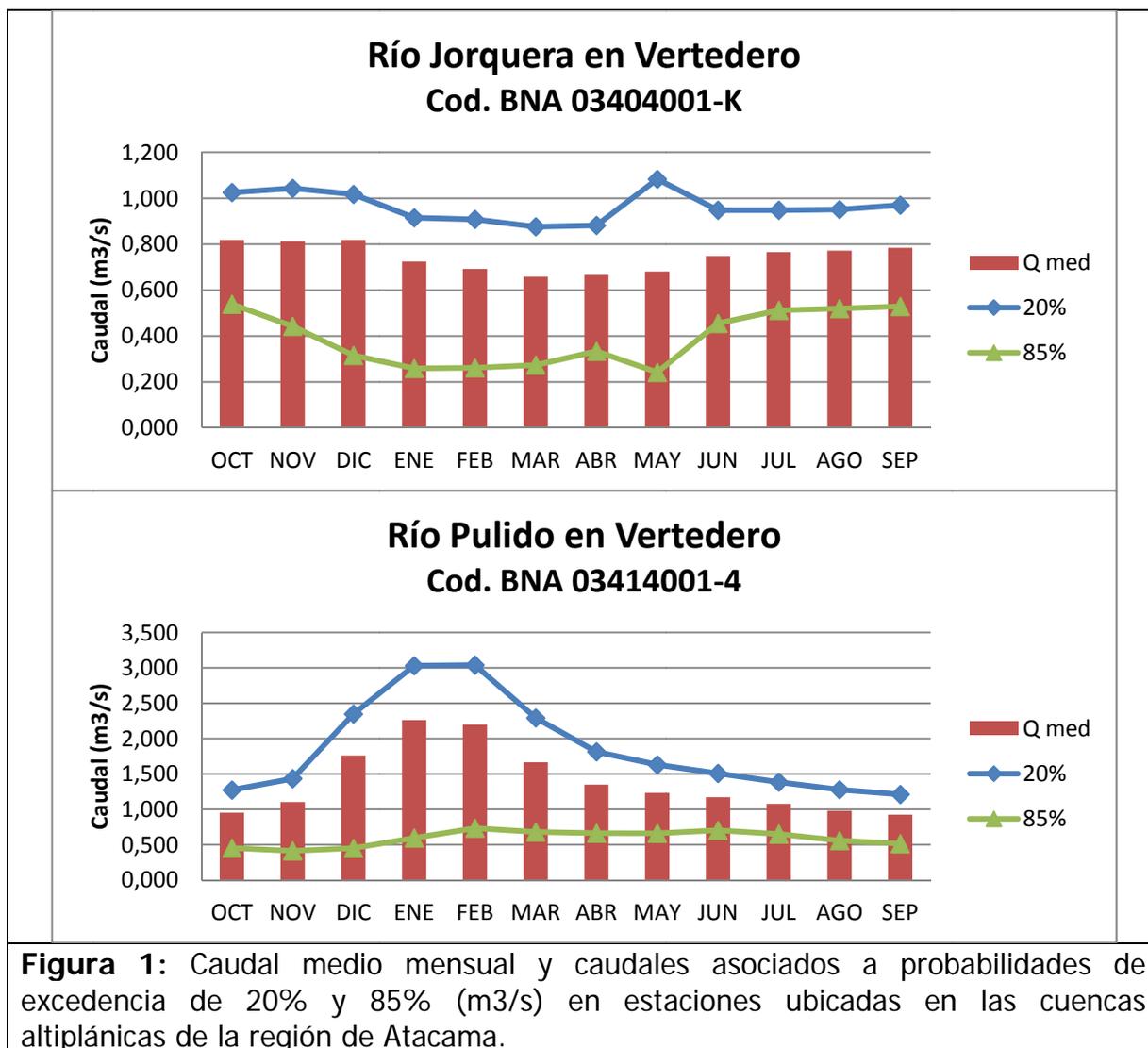
COD_BNA	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
03022001-3	0,630	0,660	0,590	0,580	0,570	0,640	0,670	0,610	0,580	0,570	0,600	0,650	0,613
03041005-K	0,240	0,240	0,240	0,230	0,240	0,250	0,260	0,250	0,260	0,250	0,250	0,250	0,247
03041004-1	0,020	0,030	0,020	0,020	0,010	0,020	0,020	0,020	0,010	0,010	0,010	0,010	0,017
03041002-5	0,030	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,035
03041001-7	0,060	0,090	0,070	0,090	0,110	0,050	0,070	0,060	0,080	0,060	0,050	0,050	0,070
03041003-3	0,060	0,070	0,080	0,060	0,050	0,180	0,090	0,050	0,050	0,040	0,050	0,050	0,069
03050001-6	0,210	0,370	0,810	1,440		0,230	0,320	0,370	0,260	0,200	0,200	0,200	0,419
03404001-K	0,666	0,681	0,748	0,765	0,772	0,784	0,818	0,812	0,818	0,724	0,692	0,658	0,745
03414001-4	1,350	1,233	1,171	1,077	0,980	0,926	0,953	1,103	1,762	2,262	2,198	1,665	1,390
03421002-0													
03421001-2	0,406	0,427	0,407	0,378	0,405	0,440	0,674	0,873	0,621	0,504	0,662	0,454	0,521
03806001-5	2,666	2,918	3,040	2,773	2,549	2,293	2,360	3,670	5,722	4,499	3,366	2,667	3,210
03815001-4	1,580	1,768	1,839	1,784	1,655	1,519	1,828	2,682	3,400	2,819	2,097	1,701	2,056
03804003-0													
03804004-9													
03802002-1													
03815002-2													
03804002-2	2,648	2,767	2,714	2,402	2,287	2,157	2,656	3,958	6,061	5,266	3,787	2,866	3,297
03814001-9	1,545	1,581	1,609	1,494	1,617	1,634	1,867	2,672	3,558	2,990	2,427	1,795	2,066
03802001-3													
03804001-4													
03814003-5													

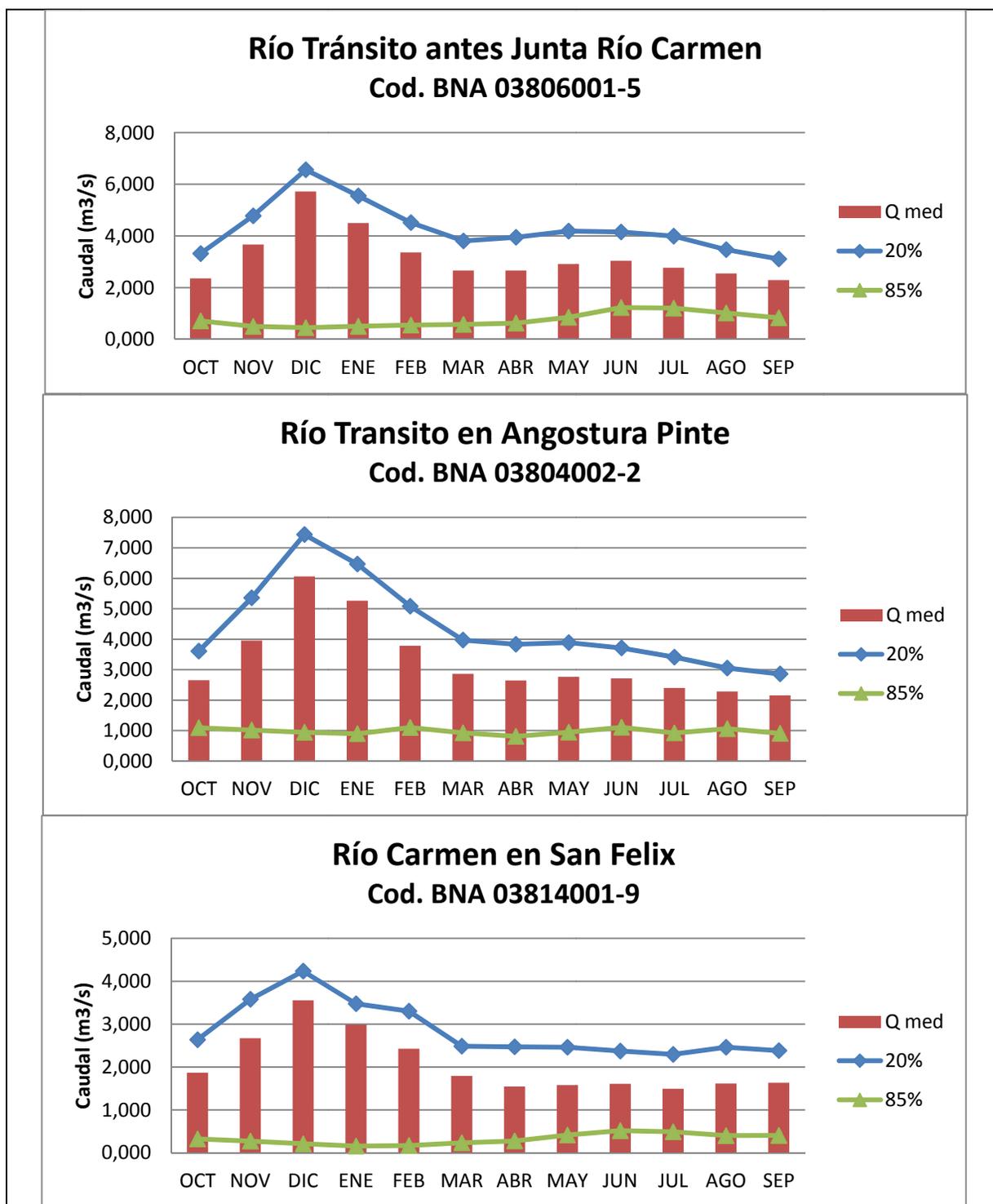
Fuente: LEVANTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO PARA EL DESARROLLO DE NUEVAS FUENTES DE AGUA EN ÁREAS PRIORITARIAS DE LA ZONA NORTE DE CHILE, REGIONES XV, I, II Y III. ETAPA 1. INFORME FINAL PARTE I. Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile. S.I.T. N° 157. Diciembre de 2008.

Análisis Estadístico de Caudales en los Ríos de Chile. DGA - Departamento de Hidrología. Volumen II, Bf Ingenieros Civiles, DGA, 1992.

En la Figura N° 1 y Figura N° 2, se presentan los caudales medios mensuales junto con las probabilidades de excedencia del 20% y 85% para algunas estaciones ubicadas al interior de las cuencas altiplánicas. En el Anexo II se presenta la información de caudales para distintas probabilidades de excedencia, la cual fue asociada en forma de fichas pdf a la cobertura de estaciones fluviométricas incluida en el visualizador de mapas del SITHA.

De esta información se tiene que los caudales medios anuales de escurrimientos al interior de las cuencas altiplánicas varían entre 0,02 y 2,93 m<sup>3</sup>/s mostrando gran estabilidad interanual. Sin embargo algunas series muestran la presencia de crecidas esporádicas, en las cuales se observan dos o tres meses con valores de caudal que superan el promedio anual. Generalmente, estos meses corresponden a febrero y marzo.





**Figura 2:** Caudal medio mensual y caudales asociados a probabilidades de excedencia de 20% y 85% (m³/s) en estaciones ubicadas en las cuencas altiplánicas de la región de Atacama.

## 5 INFORMACIÓN DE CALIDAD DE AGUAS EN CUENCAS DEL ALTIPLANO

Dado que la calidad de las aguas es tan importante como la cantidad de ésta, tanto para el riego como para el consumo humano y animal, la DGA tiene una red de calidad de aguas cuyo fin es poder caracterizar las aguas superficiales desde el punto de vista físico-químico. Debido a que esta red de medición de calidad está orientada a proveer información de carácter general, esta no permite la completa detección y vigilancia de problemas de contaminación existentes. En el Cuadro N° 4 siguiente se incluye el listado de las estaciones de calidad de aguas de la Dirección General Agua que están dentro del área de estudio.

**Cuadro N° 4:** Estaciones de calidad de aguas identificadas al interior del área de estudio, en la región de Atacama, e incluidas en las bases de datos del proyecto SITHA.

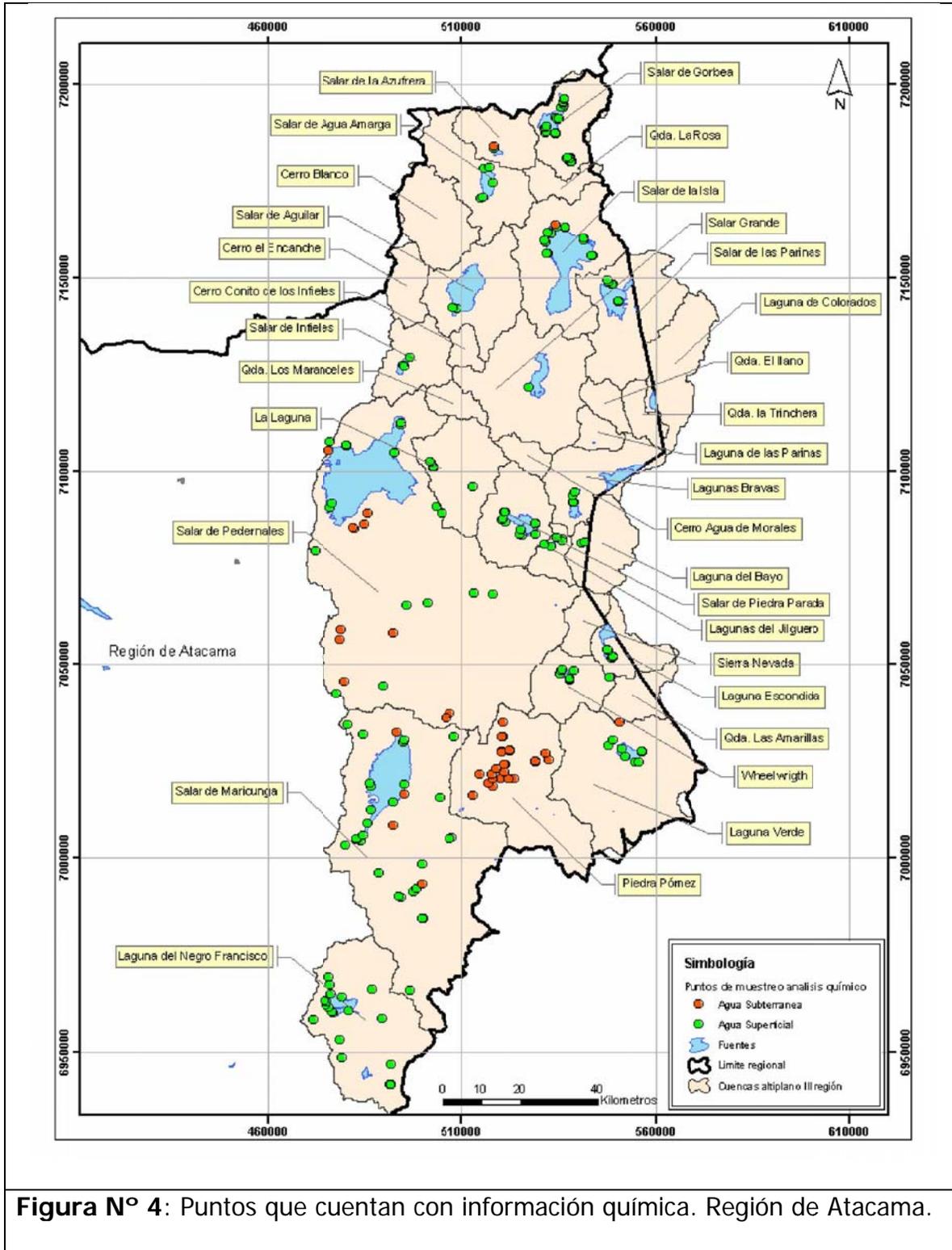
COBNA	NOMBRE	ESTE_84	NORTE_84	VIGENCIA	TIPO
03022001-3	Rio La Ola En Vertedero	494018	7070682	Vigente	Superficial
03041005-K	Rio Lamas En Vertedero	506693	7004322	Vigente	Superficial
03041008-4	Laguna Santa Rosa	483269	7003942	Suspendida	Superficial
03041004-1	Rio Valle Ancho En La Barrera	499709	6998452	Vigente	Superficial
03041011-4	Pozo Compañía Minera Tres Cruces	499472	6993030	Vigente	Subterránea
03041006-8	Rio Villalobos Antes Rio Barros Negros	498143	6991030	Suspendida	Superficial
03041007-6	Rio Villalobos Antes Rio Valle Ancho	498143	6991030	Suspendida	Superficial
03041001-7	Rio Barros Negros Antes Junta Valle An	500041	6983923	Suspendida	Superficial
03041003-3	Rio Valle Ancho Antes Junta Barros Ne	499435	6983687	Suspendida	Superficial
03050001-6	Rio Astaburuaga En Cono	495319	6962262	Suspendida	Superficial
03401001-3	Rio Figueroa Antes De Rio Turbio	445477	6935882	Suspendida	Superficial
03403001-4	Rio Turbio Antes Rio Figueroa	445965	6934772	Suspendida	Superficial
03404001-K	Rio Jorquera En Vertedero	405766	6897284	Vigente	Superficial
03414001-4	Rio Pulido En Vertedero	407374	6892589	Vigente	Superficial
03421001-2	Rio Manflas En Vertedero	402175	6885669	Vigente	Superficial
03806001-5	Rio Transito Antes Junta Rio Carmen	355240	6818481	Vigente	Superficial
03815001-4	Rio Carmen En Ramadilla	355079	6817404	Vigente	Superficial
03815003-0	Rio Carmen Antes Rio Transito	355610	6816628	Suspendida	Superficial
03802001-3	Rio Conay En Las Lozas	392481	6797102	Vigente	Superficial
03803001-9	Rio Chollay Antes Rio Conay	387478	6794225	Vigente	Superficial

Fuente: DGA.

De acuerdo a lo anterior, durante el desarrollo de este estudio se recopiló y sistematizó en la biblioteca digital del SITHA, la información de calidad de aguas generada en diferentes proyectos de instituciones públicas o que se encuentra

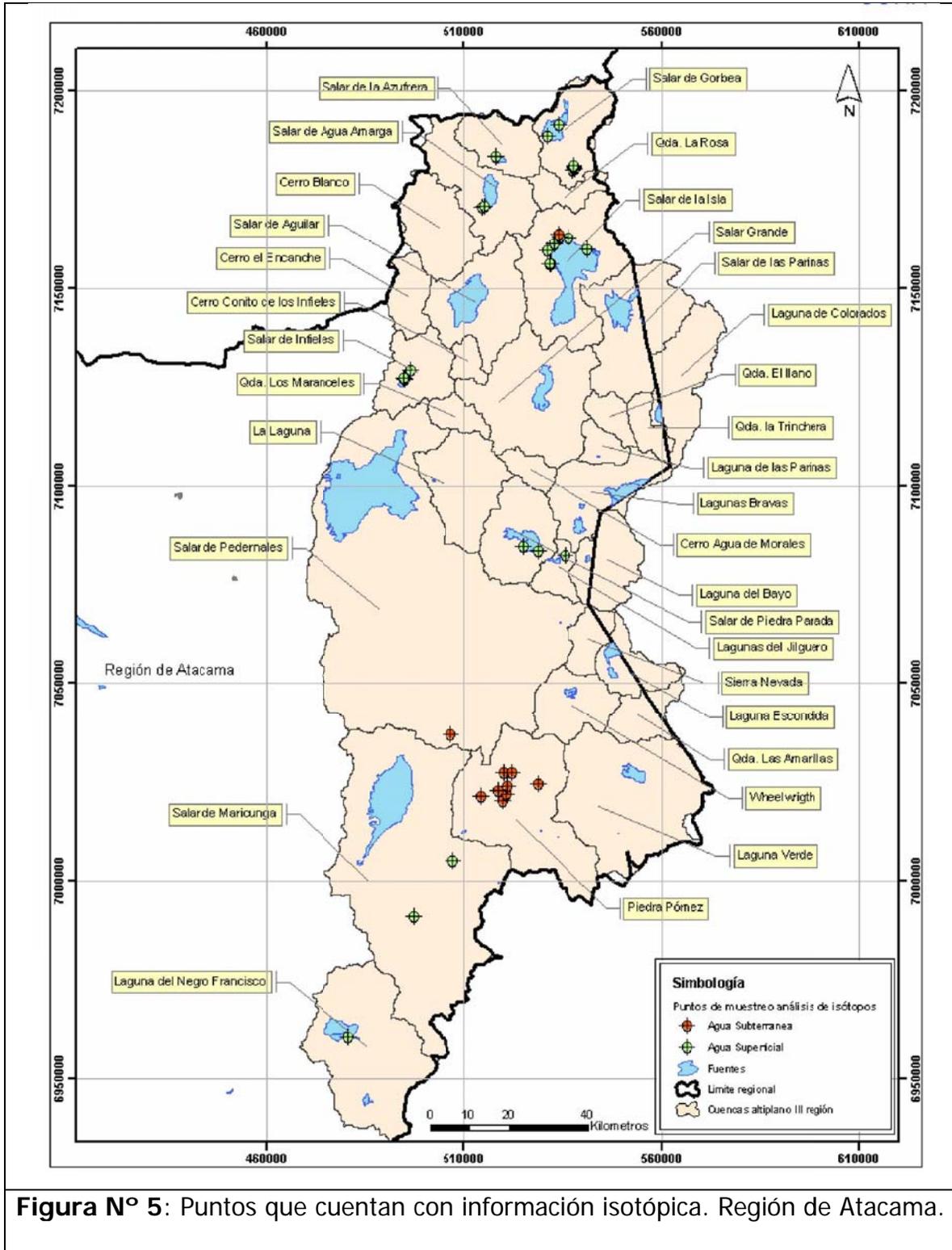
documentada en informes técnicos sobre el altiplano del área de estudio. La información recopilada se analizó e ingresó a base de datos a fin de poder efectuar una caracterización físico-química de las aguas, tanto subterráneas como superficiales. En las Figura N° 4 y Figura N° 5 siguiente se incluye los puntos que cuentan con información química e isotópica en el área de estudio de la región de Atacama.

En las bases de datos de calidad de aguas se tiene información de las composiciones químicas presentes en las aguas, los elementos con mayor presencia, su variabilidad temporal y la calidad de las mismas de acuerdo a las normas chilenas de calidad de aguas vigentes (NCh 409/1, NCh 1333). En la Figura N° 6 y Figura N° 7 se incluyen los puntos de muestreo de aguas que cumplen con la calidad de las mismas, de acuerdo a las normas chilenas de agua potable (Nch409/1.Of.2005) y para el uso de riego (Nch1333.Of78).



**Figura N° 4:** Puntos que cuentan con información química. Región de Atacama.

Fuente: LEVANTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO PARA EL DESARROLLO DE NUEVAS FUENTES DE AGUA EN ÁREAS PRIORITARIAS DE LA ZONA NORTE DE CHILE, REGIONES XV, I, II Y III. ETAPA 1. INFORME FINAL Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopia Regional del Altiplano de Chile. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile. DGA S.I.T. N° 195. Diciembre de 2009.



**Figura N° 5:** Puntos que cuentan con información isotópica. Región de Atacama.

Fuente: LEVANTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO PARA EL DESARROLLO DE NUEVAS FUENTES DE AGUA EN ÁREAS PRIORITARIAS DE LA ZONA NORTE DE CHILE, REGIONES XV, I, II Y III. ETAPA 1. INFORME FINAL Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopia Regional del Altiplano de Chile. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile. DGA S.I.T. N° 195. Diciembre de 2009.

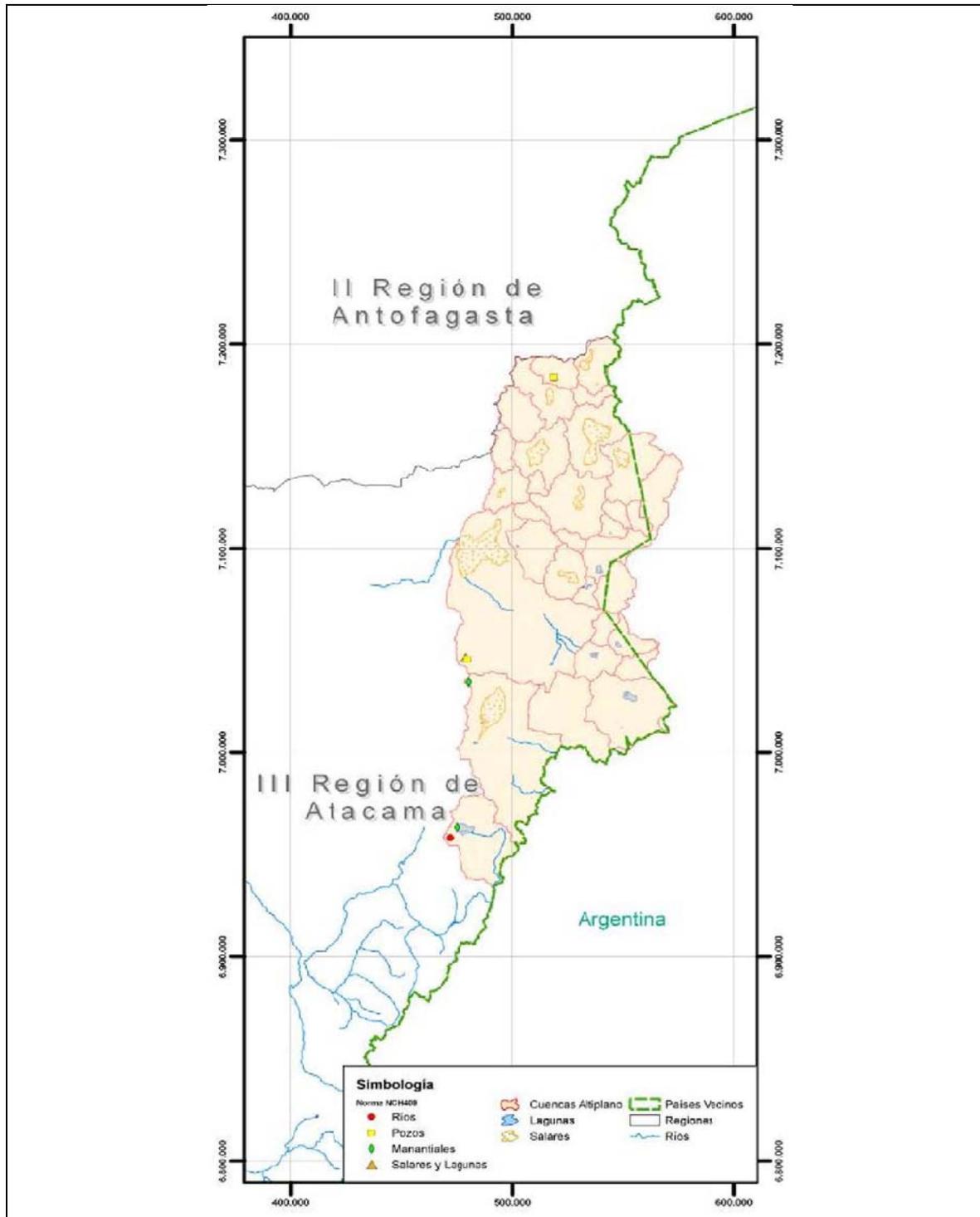


Figura N° 6: Puntos de muestreo de aguas que cumplen con la NCh 409. Región de Atacama.

Fuente: LEVANTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO PARA EL DESARROLLO DE NUEVAS FUENTES DE AGUA EN ÁREAS PRIORITARIAS DE LA ZONA NORTE DE CHILE, REGIONES XV, I, II Y III. ETAPA 1. INFORME FINAL Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopia Regional del Altiplano de Chile. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile. DGA S.I.T. N° 195. Diciembre de 2009.

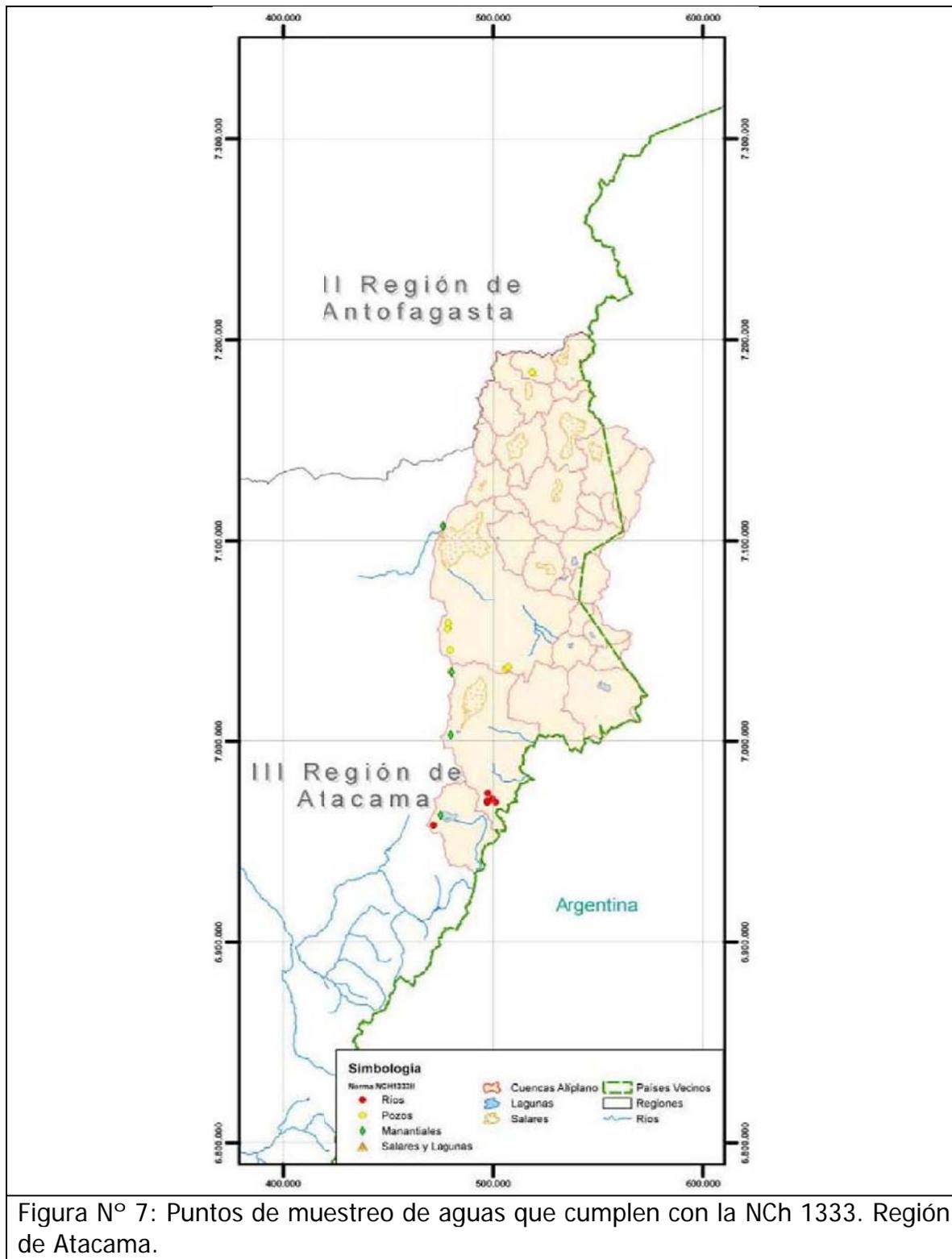


Figura N° 7: Puntos de muestreo de aguas que cumplen con la NCh 1333. Región de Atacama.

Fuente: LEVANTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO PARA EL DESARROLLO DE NUEVAS FUENTES DE AGUA EN ÁREAS PRIORITARIAS DE LA ZONA NORTE DE CHILE, REGIONES XV, I, II Y III. ETAPA 1. INFORME FINAL Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopia Regional del Altiplano de Chile. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile. DGA S.I.T. N° 195. Diciembre de 2009.

Es importante señalar que este análisis no busca comprobar la aptitud de las aguas para esos usos, sino solamente evaluar las calidades naturales de las aguas con criterios conocidos por el público en general.

**Anexo I**  
**REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**  
**VARIABLE TEMÁTICA DE RECURSOS**  
**HÍDRICOS**

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA RECURSOS HÍDRICOS ABSTRACTS

En este documento se presenta un resumen de algunos documentos, en el tema de Recursos Hídricos” del área de estudio, que fueron analizados y sistematizados en la Colección Digital de Humedales y que no estaban incluidos y/o analizados, en las otras colecciones de la biblioteca digital de CIREN, como por ejemplo de la DGA, CNR o la propia de Humedales realizada para la II Región de Antofagasta. Los documentos que se resumen a continuación, se pueden encontrar en el siguiente link: <http://bibliotecadigital.ciren.cl/gsdlexterna/cgi-bin/library.exe?site=localhost&a=p&p=about&c=humedale&w=utf-8>

1. **Análisis Estadístico de Caudales en los Ríos de Chile. DGA - Departamento de Hidrología.** Volumen I, Bf Ingenieros Civiles, DGA, 1992.

El estudio se orientó al establecimiento de series homogéneas y consistentes de caudales medios mensuales en estaciones fluviométricas localizadas a lo largo del país, y al procesamiento de dichas series, con el fin de determinar para cada una, sus indicadores estadísticos (valores medios, desviación estándar, coeficiente de variación, coeficiente de asimetría y valores extremos), sus curvas de duración general y las curvas de variación estacional asociadas a los caudales medios mensuales. Sobre la base de estos resultados, se efectuó una clasificación de los cauces analizados de acuerdo a los regímenes hidrológicos. El Volumen I incluye las estaciones fluviométricas seleccionadas por la DGA en la I región. El análisis estadístico es de 30 años entre los años hidrológicos 1960/1961 a 1989/1990.

2. **Análisis Estadístico de Caudales en los Ríos de Chile. DGA - Departamento de Hidrología.** Volumen II, Bf Ingenieros Civiles, DGA, 1992.

El estudio se orientó al establecimiento de series homogéneas y consistentes de caudales medios mensuales en estaciones fluviométricas localizadas a lo largo del país, y al procesamiento de dichas series, con el fin de determinar para cada una, sus indicadores estadísticos (valores medios, desviación estándar, coeficiente de variación, coeficiente de asimetría y valores extremos), sus curvas de duración general y las curvas de variación estacional asociadas a los caudales medios mensuales. Sobre la base de estos resultados, se efectuó una clasificación de los cauces analizados de acuerdo a los regímenes hidrológicos. El Volumen II incluye las estaciones pluviométricas seleccionadas por la DGA en las II, III y IV regiones. El análisis estadístico es de 40 años entre los años hidrológicos 1950/1951 a 1989/1990.

3. **Análisis Redes de Vigilancia Calidad Aguas Terrestres Estadística Hidroquímica Nacional. Etapa I. Primera Región. Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos – DGA.** Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. 1994.

Dado que la calidad de las aguas es tan importante como la cantidad de ésta, tanto para el riego como para el consumo humano y animal, la DGA tiene una red de calidad de aguas con el fin de caracterizar las aguas superficiales en todo el país desde el punto de vista físico-químico. Debido a que la red de calidad de aguas está orientada a proveer información de carácter general, es que no permite la completa detección y vigilancia de problemas de contaminación existentes. El estudio efectuó el ordenamiento y procesamiento de toda la información de calidad de aguas, disponible en el Banco Nacional de Aguas y en el

Laboratorio Ambiental de la DGA, desde 1980 hasta 1994. Representó gráficamente la estadística hidroquímica nacional, con el objeto de apreciar en forma rápida y clara las características físico-químicas de las aguas superficiales.

4. **Análisis Redes de Vigilancia Calidad Aguas Terrestres Estadística Hidroquímica Nacional. Etapa I. Segunda Región. Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos – DGA. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. 1994.**

Dado que la calidad de las aguas es tan importante como la cantidad de ésta, tanto para el riego como para el consumo humano y animal, la DGA tiene una red de calidad de aguas con el fin de caracterizar las aguas superficiales en todo el país desde el punto de vista físico-químico. Debido a que la red de calidad de aguas está orientada a proveer información de carácter general, es que no permite la completa detección y vigilancia de problemas de contaminación existentes. El estudio efectuó el ordenamiento y procesamiento de toda la información de calidad de aguas, disponible en el Banco Nacional de Aguas y en el Laboratorio Ambiental de la DGA, desde 1980 hasta 1994. Representó gráficamente la estadística hidroquímica nacional, con el objeto de apreciar en forma rápida y clara las características físico-químicas de las aguas superficiales.

5. **Análisis Redes de Vigilancia Calidad Aguas Terrestres Estadística Hidroquímica Nacional. Etapa I. Tercera Región. Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos – DGA. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. 1994.**

Dado que la calidad de las aguas es tan importante como la cantidad de ésta, tanto para el riego como para el consumo humano y animal, la DGA tiene una red de calidad de aguas con el fin de caracterizar las aguas superficiales en todo el país desde el punto de vista físico-químico. Debido a que la red de calidad de aguas está orientada a proveer información de carácter general, es que no permite la completa detección y vigilancia de problemas de contaminación existentes. El estudio efectuó el ordenamiento y procesamiento de toda la información de calidad de aguas, disponible en el Banco Nacional de Aguas y en el Laboratorio Ambiental de la DGA, desde 1980 hasta 1994. Representó gráficamente la estadística hidroquímica nacional, con el objeto de apreciar en forma rápida y clara las características físico-químicas de las aguas superficiales.

6. **Análisis de Eventos Hidrometeorológicos Extremos en el País. Caudales Máximos y Mínimos. Volumen I, Volumen II, Volumen III y Volumen IV. Departamento de Estudios y Planificación. DGA. AC Ingenieros Consultores Ltda. 1995.**

El objetivo de este estudio es mejorar la estimación de caudales extremos del país en cuencas que poseen escasa o nula información pluviométrica mediante el empleo de fórmulas o procedimientos sencillos pero confiables que puedan ser aplicadas con facilidad en el diseño de obras hidráulicas de pequeña a mediana envergadura.

7. **Análisis Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile. Volumen I: Regiones I, II, III y IV. DGA. IPLA Ltda., 1996.**

El estudio consiste en una evaluación de las demandas actuales y futuras de los recursos hídricos en todas las cuencas del país y subcuencas principales.

8. **Delimitación de Acuíferos de Vegas y Bofedales de las Regiones de Tarapacá y Antofagasta, DGA 1996. Vol. 1: Estudio y Vol.2: Cartografía.**

Estudio con fines de protección y conservación de estos humedales, mediante la prohibición de explorar o explotar los recursos subterráneos que los sostienen, en consideración a que

tales humedales representan por si mismos ecosistemas únicos que además sustentan especies altamente frágiles tanto en aves como en otras especies.

De acuerdo al Código de Aguas. Artículos Nros. 58 y 63. Art. N° 58, inciso 3: “No se podrán efectuar exploraciones en terrenos públicos o privados de zonas que alimenten áreas de vegas y de los llamados bofedales, en las Regiones de Tarapacá y de Antofagasta, sino con autorización fundada de la Dirección General de Aguas, la que previamente deberá identificar y delimitar dichas zonas”. Art. N° 63, inciso 2: “Las zonas que correspondan a acuíferos que alimenten vegas y bofedales de las Regiones de Tarapacá y Antofagasta se entenderán prohibidas para mayores extracciones que las autorizadas, así como para nuevas explotaciones, sin necesidad de declaración expresa. La Dirección General de Aguas deberá previamente identificar y delimitar dichas zonas”.

Delimitación de los acuíferos que alimentan las áreas de vegas y bofedales de las regiones de Tarapacá y Antofagasta, sobre la base de un fuerte trabajo de terreno a partir del cual se identifican los límites de las unidades hidrogeológicas que sustentan los humedales referidos.

La delimitación se desarrolla sobre la base de la información recopilada y a partir de inspecciones oculares de terreno.

Como resultado se obtiene un conjunto de mapas donde se ubican las áreas delimitadas e información digital de utilidad para el análisis de solicitudes relativas a aguas subterráneas por parte de la DGA.

**9. Resolución DGA N° 909, del 28 de Noviembre de 1996.**

Identifica y delimita las zonas que corresponden a los acuíferos que alimentan áreas de vegas y de los llamados bofedales en las regiones de Tarapacá y de Antofagasta, con el propósito de resolver fundadamente solicitudes de autorización de exploraciones de aguas subterráneas en dichas zonas, como de entender dichas áreas como zonas de prohibición para mayores extracciones que las ya autorizadas o para la constitución de nuevos derechos de aprovechamiento respecto de ellas.

**10. Geoquímica de Aguas en Cuencas Cerradas I, II y III Regiones, Chile. Síntesis. Convenio Cooperación DGA-UCN-ORSTOM. 1998.**

Se estudia la química de aguas de 53 cuencas cerradas de la Cordillera. Se inventariaron todos los manantiales que se vierten en las cuencas cerradas para tener una idea preliminar de la calidad química de las aguas subterráneas en las partes más altas de la cuenca de drenaje.

**11. Estimación de Requerimientos Hídricos de Humedales del Norte de Chile. DGA, 2001.**

El objetivo es avanzar en la estimación de los requerimientos hídricos de los sistemas de humedales en la zona altiplánica chilena. Bofedal de Isluga y Bofedal de Chungará.

**12. Actualización y delimitación de acuíferos que alimentan vegas y bofedales, cuenca del río Caquena, región de Tarapacá. DGA, 2003.**

Este estudio se refiere a una actualización de la delimitación de acuíferos que alimentan vegas y bofedales en la I región, en el sentido de proteger el sector del Bofedal de Caquena el cual se ubica en la zona altiplánica de dicha región, que no fue incluido en la lista de acuíferos protegidos que alimentan vegas y bofedales en la I y II regiones, resolución DGA N° 909 del año 1996.

**13. Protección de Vegas II Región, Identificación Preliminar. DGA, 2004.**

Análisis preliminar, consistente básicamente en identificar las nuevas vegas propuestas por Conadi, en el sentido de verificar si éstas ya fueron en alguna forma vistas en el estudio del

año 2001 o están protegidas por la Resolución DGA N° 529 del 2003, y de ubicarlas geográficamente para ver su factibilidad de acceso y tiempos necesarios para visitarlas.

- 14. Recursos Hídricos y Desarrollo socioeconómico en zonas áridas: Importancia y Perspectivas de Nuevas Tecnologías Aplicadas al Tratamiento de Aguas Naturales y/o Residuales.** Dra. Lorena Cornejo Ponce Departamento de Química - Facultad de Ciencias Convenio de Desempeño UTA – MINEDUC Universidad de Tarapacá Arica, Chilelorenacp@uta.cl. 2009.

Desarrollo de una tecnología innovadora que provea de manera eficiente agua segura y desinfectada a escala domiciliaria perfectamente operable por los miembros de la familia rural. Se demostró que es posible usar la energía solar para desinfectar y descontaminar aguas naturales y habilitarlas para el consumo humano. La irradiación ultravioleta presente en el espectro solar permite un método muy sencillo para neutralizar patógenos del agua en sistemas cerrados, tales como el uso de botellas de polietileno, dado que se ha demostrado que es capaz de destruir el ADN de los patógenos y evitar su reproducción.

- 15. Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua Según Objetivos de Calidad, Cuenca Quebrada de Tarapacá.** Cade Idepe - Diciembre 2004. DGA.

La quebrada de Tarapacá, ubicada en la I Región de Tarapacá, nace en la altacordillera en la confluencia de dos quebradas, y corresponde al curso de agua superficial más importante de la pampa del Tamarugal. En su larga trayectoria recibe tributarios habitualmente secos o efímeros. El más importante por la ribera derecha es la quebrada de Chusmisa, donde se encuentran los baños termales y se ha industrializado el agua de vertiente que es de consumo habitual en todo el extremo norte de Chile. Por el lado izquierdo, el afluente principal es la quebrada de Coscaya, que tiene cabeceras enraizadas en la alta cordillera y drena la pampa Lirima. Los cauces incluidos en el estudio son los siguientes:

- Quebrada de Tarapacá
- Quebrada de Coscaya

La calidad natural del agua superficial de la cuenca está influenciada fuertemente por las siguientes características que explican la calidad actual de la Quebrada de Tarapacá y sus tributarios:

- La calidad natural de la cuenca de las quebradas que componen la Qda. Tarapacá varía de buena a mala, observándose principalmente gran concentración de metales e iones.
- La calidad natural de los tributarios de la parte alta de la cuenca, presentan gran cantidad de metales, los que son de origen natural (litología, edafología, etc.)
- La existencia de franja metalogénicas F-6 es una gran modificadora de la calidad natural en la cuenca, en lo referente a metales.
- La edafología interviene de manera considerable en las características de salinidad de las aguas.
- La alta radiación solar contribuye de manera activa a los fenómenos de concentración
- El régimen de esta cuenca es discontinuo, por lo que los resultados de calidad son muy dependientes de la época en que se realicen.

En el estudio se tiene: Análisis de Información Fluviométrica, Análisis de la Calidad de Agua y Caracterización de la Calidad de Agua a Nivel de la Cuenca.

- 16. Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua Según Objetivos de Calidad, Cuenca del Río Lluta.** Cade Idepe - Diciembre 2004. DGA.

La cuenca hidrográfica del Río Lluta está ubicada en la I Región de Tarapacá, y se extiende entre los paralelos 18°- 18°30' latitud sur y meridianos 70°20' - 69°22' longitud oeste. Abarca una superficie de 3.378 km<sup>2</sup>. Cubre parcialmente el territorio de las Provincias de Parinacota y Arica, siendo el poblado más importante, la localidad de Putre. El Río Lluta tiene una longitud de 147 km, siendo sus principales tributarios el Río Azufre y las Quebradas de Caracarani, Colpitas y Socoroma. El río presenta escurrimiento exorreico permanente y su cuenca se clasifica como preandina. La cuenca se caracteriza por la escasez de precipitaciones y, por tanto, la totalidad de sus suelos están desprovistos de vegetación a excepción del sector bajo del valle donde el uso del suelo es agrícola. Los cauces seleccionados para el estudio son:

- Río Lluta
- Quebrada Colpitas
- Quebrada Caracarani

La calidad natural del agua superficial de la cuenca está influenciada fuertemente por los siguientes características que explican la calidad actual del río Lluta y sus tributarios.

- En general, la calidad natural del río es clasificada como de regular a mala calidad, donde exceden la clase de excepción los metales como el Boro, arsénico, oxígeno disuelto, pH, cobre, aluminio, hierro, cromo, manganeso, conductividad eléctrica, sulfatos, zinc, cloruros y plomo.

La parte alta de la cuenca está influenciada fuertemente por los factores volcánicos y los salares que adicionan contenido de metales e inorgánicos. • La parte media y baja está influenciada por los efectos del suelo salino dado por la alta concentración de nitrato de sodio y otros compuestos en la cuenca.

- Como conclusión general puede afirmarse que el río Lluta y sus tributarios principales tiene una contaminación predominantemente de origen natural en que predominan altos valores de Boro, Arsénico, compuestos inorgánicos y metales debido a la presencia de salares, suelos salinos y bajas precipitaciones que no le permiten una dilución de los contaminantes aguas abajo concentrándose debido a la alta evaporación sufrida en el segmento.

En el estudio se tiene: Análisis de Información Fluviométrica, Análisis de la Calidad de Agua y Caracterización de la Calidad de Agua a Nivel de la Cuenca.

17. **Actualización Recursos Hídricos para Reestablecimiento de Derechos Ancestrales Indígenas I y II Regiones.** DGA Septiembre 2001. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. Ingenieros Consultores.

Recopilación de información primaria y secundaria relativos a la situación del uso del agua en las comunidades Aymaras y Atacameñas de la I y II regiones, tales como: situación de los pueblos aymaras y atacameños y su relación con el agua; antecedentes hidrológicos (pluviometría y pluviometría en los sectores de interés); aguas subterráneas (geología, geofísica, hidrogeología y catastro de captaciones de agua subterránea); antecedentes geográficos, demográficos, productivos y socioeconómicos disponibles; uso del suelo; derechos de aguas; catastro de usuarios en zonas de interés; obras de aprovechamiento de aguas y recursos hídricos; y cartografía de los distintos temas.

18. **Metodología para la Estimación de Recarga de Cuencas Altiplánicas y Precordilleranas de Vertiente Pacífica en el Norte de Chile, XV, I, II y III Regiones.** DGA Diciembre de 2010. GCF INGENIEROS LIMITADA.

El objetivo de este estudio fue desarrollar una metodología que permita la estimación de recargas en cuencas con influencia altiplánica de la zona norte de Chile, comprendidas entre las Regiones XV y III.

El método elaborado se basa en un balance hídrico, que considera, además de la recarga, la variable precipitación líquida y sólida, almacenamiento de nieves y derretimiento de ésta, evaporación desde cada cuenca, acumulación en acuíferos y afloramientos, y caudales superficiales. Para estos efectos se hace depender el balance hídrico de ciertos coeficientes de evaporación y de permeabilidad o recarga, característicos de cada cuenca, los cuales varían espacialmente, habiéndose calibrado éstos al aplicar la metodología a un total de 25 cuencas a lo largo de la zona de estudio.

Un objetivos secundarios de este estudio fue realizar un análisis de la información hidrometeorológica e hidrogeológica disponible para la zona de estudio, además de la sectorización espacial de ésta de acuerdo con la variación de sus características, para definir zonas homogéneas con distinto comportamiento en cuanto a recargas. En cuanto a lo primero, se trabajó con un período de 40 años entre 1970 y 2009.

Dado que entre las variables que forman parte del sistema hídrico en la zona de interés, la precipitación es de la mayor importancia para la estimación de recargas, se efectuó el análisis de esta variable aplicando métodos que se prestan para representar el comportamiento de variables en que la componente aleatoria es relevante. En efecto, se aplicó un método estocástico multivariado, el cual permitió rellenar y extender las estadísticas mensuales de precipitaciones en 102 estaciones pluviométricas, manteniendo la correlación espacial entre las lluvias en las distintas estaciones, así como las características históricas de las precipitaciones en cada estación. Dada las dificultades que presenta el manejo de precipitaciones en cuencas con influencia altiplánica, se considera que las estadísticas obtenidas son confiables y representativos de la precipitación real en la zona.

A partir de los resultados del análisis pluviométrico, se sectorizó el área de estudio en cuatro zonas homogéneas, caracterizadas por la cantidad de precipitación promedio anual sobre cada una de ellas y por su cota media sobre el nivel medio del mar. Los límites de esta sectorización resultaron ser los siguientes:

- Zona 1: Entre el extremo norte de Chile y hasta antes del extremo norte de la cuenca del Río San José.
- Zona 2: Entre la cuenca del Río San José y la cuenca del Río san Pedro de Atacama.
- Zona 3: Entre el Salar de Atacama y el Salar de Maricunga.
- Zona 4: Entre la cuenca del Río Jorquera y el extremo sur de la III Región.

#### **19. Estimación de Recargas en Cuencas Altiplánicas y Precordilleranas de Vertiente Pacífica.** DGA Septiembre 2011. SIT N° 251. Aquaterra Ingenieros Limitada.

Este estudio tiene por objetivo principal estimar la recarga de agua de las principales cuencas que cumplan con la condición de altiplánicas o de vertiente pacífica. Los objetivos específicos son realizar un análisis crítico de la metodología propuesta, desarrollar un análisis sistemático de la información física disponible (hidrología, geomorfología, hidrogeología, geología y usos) de las cuencas consideradas en el estudio, desarrollar actividades de análisis y de terreno para el ajuste y mejora de la metodología, aplicar la metodología propuesta sobre la base de los antecedentes sistematizados, efectuar balances hídricos de carácter preliminar sobre la base de los antecedentes de derechos y usos que se encuentren disponibles y efectuar un

análisis de validación que considere la coherencia regional y a nivel de cuenca de los resultados obtenidos.

Las cuencas donde se aplicó la metodología son: Río Lluta Alto, Río Lluta Bajo Río Azufre, Río Caquena, Río San José Alto, Río Codpa hasta Cala Cala, Río Camarones Hasta Conanoxa, Quebrada Camiña hasta Altusa, Quebrada de Tarapacá hasta Sibaya, Río Collacagua Hasta Peñablanca (Huasco), Río Piga Hasta Collacagua (Huasco), Río Guatacondo Hasta Copaquire, Río Loa Hasta Lequena, Río Salado y Río Salado Hasta Curti.

Las cuencas en que se determinó balance hídrico son las siguientes: Lauca, Caquena, Isluga, Cariquima, Codpa Alto, Salar del Huasco, Cancosa, Camiña Alto, Maricunga, Pedernales y Negro Francisco.

20. **Propuesta Metodológica para Estimación de Recarga en Cuencas Altiplánicas y de Vertiente Pacífico.** Minuta Técnica DGA 2010. Luis Rojas Badilla, Carlos Salazar Méndez.

En el año 2010 la DGA desarrolló este estudio para estimación de la recarga en la zona altiplánica y cuencas de vertiente pacífico, con el cual se buscó avanzar en la formulación metodológica y en la preparación y sistematización de la información base, hidrológica e hidrogeológica. Este trabajo correspondió a una versión preliminar cuya versión final fue publicada con modificación en el SDT N° 317 de Agosto del 2011.

El modelo conceptual desarrollado tiene una formulación simple, pero su aplicación requirió de antecedentes con un nivel de detalle superior al disponible, en particular, la regionalización de los parámetros no tuvo resultados adecuados para lograr su extensión generalizada.

Debido a la necesidad de contar con una herramienta de aplicación simple y con una precisión razonable, se desarrolló una formulación metodológica que se basó en un modelo simplificado del comportamiento de la escorrentía a nivel regional, orientado a la estimación de la recarga neta en las cuencas del Norte de Chile. El origen de la propuesta metodológica fue el estudio “The Study on The Development of Water Resources in Northern Chile”, JICA, 1995. En dicho trabajo, se intentó relacionar el coeficiente de escorrentía de la cuenca con la precipitación media anual de largo plazo de la cuenca respectiva. Así, la relación que se llegó a establecer fue:

$$Q_s = f \times P \times A \quad P = m \times f + C$$

Donde:  $Q_s$  = Caudal medio superficial de salida o escorrentía total (largo plazo)

$P$  = Precipitación media anual de la cuenca = Recarga

$A$  = Área de la cuenca

$f$  = coeficiente de escorrentía de la cuenca

$m$  y  $C$  = coeficientes de ajuste lineal

La principal dificultad que presenta desarrollar una metodología de aplicación regional para la determinación de la recarga de cuencas altiplánicas consiste básicamente en la poca información disponible. Este trabajo desarrollado por la DGA se dividió en 2 etapas, a saber:

a) Búsqueda de una relación de largo plazo entre la escorrentía total de salida de una cuenca y la precipitación media sobre ésta.

b) Determinación de la recarga neta o efectiva, estimada a partir del comportamiento de los caudales superficiales estacionales de salida de las cuencas, donde los conceptos de caudal base interanual, demandas estacionales máximas y mínimas, períodos interanuales húmedos o secos, flujo pasante subterráneo, etc., son elementos básicos para la fundamentación de la estimación.

21. **Estimación de Recarga en Cuencas Altiplánicas Seleccionadas.** Informe Técnico. División de Estudios y Planificación DGA. SDT N° 317. Agosto de 2011. Luis Rojas Badilla, Carlos Salazar Méndez.

De acuerdo a este estudio, la escasa información disponible ha sido la principal dificultad para desarrollar una metodología que sea de aplicación regional y que determine la recarga de cuencas altiplánicas. Una metodología para estimar recarga puede estar basada en un modelo conceptual muy coherente, sin embargo, si su calibración requiere información no disponible, implícitamente se produce una distorsión de los coeficientes de ajustes, limitando la validez del método al ámbito local.

Consecuentemente, una metodología de trabajo robusta debe incorporar las simplificaciones temporales y espaciales de las variables hidrológicas e hidrogeológicas de mayor importancia, en consistencia con la información disponible, de manera que toda particularidad no cubierta se propague aleatoriamente sobre los resultados. En este sentido, la línea de trabajo fue dirigida desde un principio a nivel regional.

Este trabajo se desarrolló en dos etapas, la primera, enfocada a la búsqueda de una relación de largo plazo entre la escorrentía total de salida y la precipitación media sobre la cuenca, utilizando para ello los datos y cuencas seleccionadas en el estudio del 2010, y del **Balance Hídrico Nacional de 1987**.

La segunda etapa, enfocada a la determinación de una recarga neta o efectiva, estimada a partir del comportamiento de los caudales superficiales estacionales controlados a la salida de las cuencas estudiadas, en donde conceptos como caudal base interanual, demandas estacionales máximas y mínimas, períodos interanuales húmedos o secos, flujo pasante subterráneo, etc., son elementos básicos para la fundamentación de la estimación propuesta.

El trabajo adopta como base el modelo conceptual JICA, complejizándolo con la incorporación de dos nuevas variables, de orden hidrológico e hidrogeológico, analizando su efecto en forma individual e independiente. Estas variables, escogidas entre las de mayor peso sobre la escorrentía total de una cuenca, corresponden a la zonificación de la cuenca de drenaje en función de la geología superficial, y a la desagregación de la relación única P-Et en dos relaciones estacionales (verano e invierno). Cambios con los cuales se pretende mejorar su representatividad y extender el dominio de aplicación, haciéndolo extensivo a todas las cuencas entre la XV y III región del país, localizadas sobre los 1500 msnm.

De acuerdo a lo anterior, la relación entre la precipitación media y la escorrentía total fue formulada en dos relaciones paralelas, es decir, una relación entre la precipitación media anual de invierno y la escorrentía generada por ella, y otra entre la precipitación media anual de verano y su propia escorrentía. Lo anterior basado en que:

- Para un mismo volumen de agua caída en invierno o verano, las condiciones meteorológicas de temperatura, humedad relativa, evaporación y de evapotranspiración, presentan grandes diferencias, determinando diferentes condiciones de infiltración y de escurrimiento.
- El caudal medio de salida de la cuenca (escorrentía total), corresponde a la suma de escorrentía de invierno y verano.

Fundamentos bajo los cuales el modelo de escurrimiento JICA se puede plantear en los siguientes términos:

$$Q_{INV} = f_{inv} * P_{inv} * A$$

$$Q_{VNO} = f_{vno} * P_{vno} * A$$

$$P_{inv} = m1 f1 + C1$$

$$Pvno = m2 f2 + C2$$

$$Qs = QINV + QVNO$$

PINV = Precipitación media anual de invierno

Pvano = Precipitación media anual de verano

QINV = Escorrentía media anual de invierno

QVNO= Escorrentía media anual de verano

finv = Coeficiente de escorrentía de invierno

fvno = Coeficiente de escorrentía de verano

Qs = Caudal medio anual de salida de la cuenca ó escorrentía total (largo plazo)

A = Área de la cuenca

mi y Ci = Coeficientes de ajuste lineal.

El ajuste obtenido entre el caudal medio observado y la escorrentía total estimada resulta ser de muy buena calidad, con una recta del tipo  $y=x$  y un  $r^2=0,92$ .

Por otra parte, la recarga neta o caudal base interanual de salida de la cuenca puede ser estimada, en términos de caudal medio mensual, como el promedio de los mínimos decadales observados entre los meses de junio, julio y agosto. Lo anterior sobre la base que:

- Las precipitaciones de invierno sobre las cuencas seleccionadas de la zona norte son escasas y de bajo monto, y hacia el sur son mayoritariamente sólidas. Por lo que los aportes al escurrimiento durante el invierno son significativamente menores que en verano. Las bajas temperaturas limitan el deshielo de las nieves y la escorrentía de salida se aproxima al caudal base de la cuenca, y períodos de sequía interanual, puede llegar a estar muy cerca de este valor.
- Durante el verano, el caudal base persiste pero es difícil de ser medido, debido a las mayores pérdidas de evaporación y evapotranspiración, que incluso pueden llegar a consumir la totalidad del flujo base en años secos, y/o períodos de sequía interanual.
- Por otra parte, existe consenso en interpretar las series hidrológicas del norte bajo la perspectiva de ciclos hidrológicos decadales, a partir de lo cual resulta razonable estimar el flujo base como el promedio del conjunto de los 4 mínimos decadales observados históricamente.

Conforme a los resultados de este estudio se puede asumir con propiedad que aproximadamente un **40% de la escorrentía total de salida de una cuenca altiplánica corresponde a flujo base o recarga neta de ésta.**

## 22. **Derechos de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas Otorgados en la Cuenca del río Copiapó.** DARH-DGA. SDT N° 327. Marzo 2012.

Este estudio tuvo como principal objetivo identificar en forma oficial los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas de tipo consuntivo otorgados en cada sector acuífero de la cuenca del río Copiapó.

Asimismo, se determinó la cantidad de constituciones de derechos de aprovechamiento por año, los caudales otorgados y el volumen total anual otorgado, para cada sector y para el total de la cuenca.

En la parte alta de la cuenca, aguas arriba del embalse Lautaro, 2.187 l/s y 68.967.655 m<sup>3</sup>/año.

## 23. **Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. Etapa 1 Informe Final**

Parte I. Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. DGA S.I.T. N° 157. Diciembre de 2008. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile. Este estudio, realizado entre los años 2007 y 2009, se enmarca en un convenio de cooperación e investigación científica aplicada entre la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (DIHA) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). La investigación o acción de apoyo tuvo como objetivo fundamental el levantamiento, generación y análisis de información hidrogeológica para avanzar en el estudio de los recursos hídricos del sector chileno del Altiplano. En este contexto, este estudio pretende ser un apoyo concreto para el desarrollo de nuevas fuentes de agua subterránea en áreas prioritarias del norte de Chile. El estudio consistió en el desarrollo de una serie de trabajos de terreno y gabinete, tanto a nivel regional como local. Los resultados obtenidos se presentan en 10 informes o partes independientes, cuyos contenidos son los siguientes: • Parte I Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. • Parte II Geología Regional del Altiplano de Chile. • Parte III Hidrología Regional del Altiplano de Chile. • Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. • Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. • Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. • Parte VII Medición de la Evaporación Mediante Método del “Domo”. • Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. • Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tecas y Colorada. • Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. Cada parte está estructurada de manera de ser autocontenida y poder ser utilizada para fines y materias específicas. Sin perjuicio de lo anterior, las Parte VIII, IX y X que consideran el estudio de sistemas pilotos, hacen referencias y utilizan resultados de los estudios a nivel regional (Partes I, II, III y IV) y de los trabajos de terreno (Partes V, VI y VII).

El objetivo general del estudio es la implementación de un programa de investigación que permita establecer el estado actual del conocimiento sobre el funcionamiento hidrogeológico de los sistemas altoandinos. La información levantada y analizada fue complementada con trabajos de terreno y gabinete. El estudio considera un análisis a escala regional y otro a nivel local o sistemas pilotos. En ambas escalas de trabajo se abordan, fundamentalmente, aspectos geológicos, hidrológicos, hidrogeoquímicos e hidrogeológicos.

En el marco de este proyecto, en esta primera Etapa Parte I, se trabajó en la definición de las cuencas hidrográficas que se encuentran en la zona del Altiplano y la Puna. Las cuencas hidrográficas delimitadas se emplazan en una franja cordillerana paralela a la línea de costa chilena, desde Visviri (cuenca de ríos Uchusuma y Caquena) hasta la altura de Copiapó (cuenca de la Laguna del Negro Francisco). Las cuencas se trazaron usando Modelos de Elevación Digital (DEM), con el apoyo de coberturas digitales SIG, imágenes satelitales y otros estudios realizados en la zona. En total se delimitaron 87 hoyas hidrográficas en las cuatro Regiones que abarca el estudio. De estas unidades se obtuvo algunas características como área, perímetro, pendiente media y alturas máxima, media y mínima, entre otra. La escala de trabajo es 1:250.000.

- 24. Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. Etapa 1 Informe Final Parte II. Geología Regional del Altiplano de Chile. DGA S.I.T. N° 157. Diciembre de 2008. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile.**

Este estudio, realizado entre los años 2007 y 2009, se enmarca en un convenio de cooperación e investigación científica aplicada entre la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (DIHA) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). La investigación o acción de apoyo tuvo como objetivo fundamental el levantamiento, generación y análisis de información hidrogeológica para avanzar en el estudio de los recursos hídricos del sector chileno del Altiplano. En este contexto, este estudio pretende ser un apoyo concreto para el desarrollo de nuevas fuentes de agua subterránea en áreas prioritarias del norte de Chile. El estudio consistió en el desarrollo de una serie de trabajos de terreno y gabinete, tanto a nivel regional como local. Los resultados obtenidos se presentan en 10 informes o partes independientes, cuyos contenidos son los siguientes: • Parte I Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. • Parte II Geología Regional del Altiplano de Chile. • Parte III Hidrología Regional del Altiplano de Chile. • Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. • Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. • Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. • Parte VII Medición de la Evaporación Mediante Método del “Domo”. • Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. • Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tecas y Colorada. • Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. Cada parte está estructurada de manera de ser autocontenida y poder ser utilizada para fines y materias específicas. Sin perjuicio de lo anterior, las Parte VIII, IX y X que consideran el estudio de sistemas pilotos, hacen referencias y utilizan resultados de los estudios a nivel regional (Partes I, II, III y IV) y de los trabajos de terreno (Partes V, VI y VII).

El objetivo general del estudio es la implementación de un programa de investigación que permita establecer el estado actual del conocimiento sobre el funcionamiento hidrogeológico de los sistemas altoandinos. La información levantada y analizada fue complementada con trabajos de terreno y gabinete. El estudio considera un análisis a escala regional y otro a nivel local o sistemas pilotos. En ambas escalas de trabajo se abordan, fundamentalmente, aspectos geológicos, hidrológicos, hidrogeoquímicos e hidrogeológicos.

En las conclusiones de esta parte del proyecto, Etapa I - Parte II, se dice que el Altiplano - Puna configura una gran unidad morfotectónica que representa una cuenca intramontañosa de más de 200 km de largo con una altitud de entre 3.800 (~4.000) a 4.500 m. Esta región de América del Sur se encuentra en el norte de Chile, el centro y sur de Perú, la parte occidental de Bolivia y el noroeste de Argentina. El relleno sedimentario tiene una edad Mesozoica a Cenozoica y alcanza localmente un espesor de 10.000 m. Se encuentra limitada al este y al oeste por enormes cadenas montañosas: Cordilleras Oriental y Occidental, respectivamente. La primera alcanza altitudes de hasta 7.000 m mientras que la segunda alcanza altitudes entre 5.000 y 6.000 m. Se distinguen dos importantes diferencias entre el Altiplano y la Puna (ubicada más al sur). La primera es que la Puna tiene una altura promedio de casi 4.400 m.s.n.m. y es rugosa, mientras que el Altiplano tiene una altura promedio de 3.800 m.s.n.m. y es plano. La segunda diferencia corresponde al límite este de ambas zonas; en el caso del Altiplano, tiene a las Sierras Subandinas, en cambio la Puna tiene las Sierras Pampeanas y el Sistema Santa Bárbara. Estos grupos o unidades difieren por el tipo de cabalgamiento con que se encuentran dispuestas, generado por el tipo de deformación y el volcanismo existente. Más del 90% de las rocas que están expuestas en superficie en el Altiplano-Puna fueron formadas durante la Tercera Etapa del ciclo tectónico Andino y por lo tanto corresponde a una de las

zonas más jóvenes del territorio descrito. Los afloramientos en ambas zonas están compuestos en su mayoría por depósitos volcánicos y en segundo orden por depósitos sedimentarios. El volcanismo Cenozoico del Altiplano y la Puna presentan tres asociaciones temporales y espaciales, las cuales son: (1) Estratovolcanes andesíticos-dacíticos del arco volcánico principal formados en el Mioceno Inferior – Pleistoceno; (2) Depósitos ignimbrítico silicios y lavas que ocurren en el arco volcánico principal y en el trasarco durante el Mioceno Inferior – Plioceno y (3) Pequeños centros volcánicos basálticos formados en el trasarco en el Plioceno – Pleistoceno. El abundante magmatismo silicio es una de las características más importantes de la actividad volcánica Neógena de la zona volcánica de Los Andes Centrales. La concentración Miocena a Pliocena de las calderas que componen el Complejo Volcánico Altiplano-Puna es por lejos una de las más grandes provincias ignimbríticas eruptivas en el mundo. Las grandes ignimbritas del Complejo Volcánico Altiplano-Puna están compuestas por volúmenes eruptivos de varios miles de metros cúbicos y presentan evidencias geoquímicas de poseer una fuente predominantemente cortical. Existen también importantes evidencias dadas por anomalías de velocidades sísmicas y conductividad eléctrica que delimitan una amplia zona de alta temperatura y fusión parcial emplazada hoy en día en la corteza media, bajo la región del plateau Altiplano-Puna. Por ello las ignimbritas son expresiones geológicas de la enorme anomalía termal que existe en la corteza media.

25. **Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. Etapa 1** Informe Final Parte III. Hidrología Regional del Altiplano de Chile. DGA S.I.T. N° 157. Diciembre de 2008. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile. Este estudio, realizado entre los años 2007 y 2009, se enmarca en un convenio de cooperación e investigación científica aplicada entre la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (DIHA) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). La investigación o acción de apoyo tuvo como objetivo fundamental el levantamiento, generación y análisis de información hidrogeológica para avanzar en el estudio de los recursos hídricos del sector chileno del Altiplano. En este contexto, este estudio pretende ser un apoyo concreto para el desarrollo de nuevas fuentes de agua subterránea en áreas prioritarias del norte de Chile. El estudio consistió en el desarrollo de una serie de trabajos de terreno y gabinete, tanto a nivel regional como local. Los resultados obtenidos se presentan en 10 informes o partes independientes, cuyos contenidos son los siguientes: • Parte I Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. • Parte II Geología Regional del Altiplano de Chile. • Parte III Hidrología Regional del Altiplano de Chile. • Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. • Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. • Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. • Parte VII Medición de la Evaporación Mediante Método del “Domo”. • Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. • Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tecas y Colorada. • Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. Cada parte está estructurada de manera de ser autocontenida y poder ser utilizada para fines y materias específicas. Sin perjuicio de lo anterior, las Parte VIII, IX y X que consideran el estudio de sistemas pilotos, hacen referencias y utilizan resultados de los estudios a nivel regional (Partes I, II, III y IV) y de los trabajos de terreno (Partes V, VI y VII).

El objetivo general del estudio es la implementación de un programa de investigación que permita establecer el estado actual del conocimiento sobre el funcionamiento hidrogeológico de los sistemas altoandinos. La información levantada y analizada fue complementada con trabajos de terreno y gabinete. El estudio considera un análisis a escala regional y otro a nivel local o sistemas pilotos. En ambas escalas de trabajo se abordan, fundamentalmente, aspectos geológicos, hidrológicos, hidrogeoquímicos e hidrogeológicos.

En esta parte del estudio, Etapa 1 – Parte III, se realizó la caracterización hidrológica a nivel regional de las cuencas altiplánicas chilenas, considerando variables meteorológicas como precipitaciones, temperatura y evaporación de tanque, e hidrológicas como los escurrimientos. Para el análisis se recopilaron series históricas de estas variables a nivel mensual y anual. El análisis de precipitaciones permitió caracterizar la distribución espacial y temporal de las precipitaciones en el altiplano estimando cuantitativamente el aporte de lluvias a las cuencas altiplánicas. Del análisis se observó que se produce un cambio significativo en la precipitación media anual en función de la latitud notándose que en las estaciones ubicadas sobre los 3.000 msnm la cantidad de agua caída de la XV y I Región es mucho mayor que el agua caída en la II Región. En cuanto a la variación de la precipitación media anual con la altura se estableció para la XV y I Región un gradiente de 3,5 mm cada 100 m de altitud entre los 2.000 y 3.000 msnm, el que aumenta a cerca de 20 mm por cada 100 m sobre los 3.000 msnm. Para la II Región se estimó un gradiente de 6 mm cada 100 m de altitud a partir de los 2.250 msnm. Finalmente para la III Región se estimó un gradiente de 1 mm por cada 100 m de altura para el rango de altitudes de 0 a 2.200 msnm, desconociéndose lo que ocurre sobre los 2.200 msnm. Se realizó un análisis estacional de la precipitación media mensual observándose que el 80% de la precipitación anual está concentrada en el período Diciembre – Marzo en las estaciones de la XV y I Región, y casi la totalidad de las ubicadas en la II Región. En cambio el 90% de la precipitación anual ocurre en el período Abril – Noviembre para el resto de las estaciones de la II Región y las de la III Región, siendo este comportamiento similar al que tienen las precipitaciones en la zona central de Chile. Esto indica que la influencia meteorológica del denominado invierno boliviano solo llega hasta la latitud 22° aproximadamente. El análisis temporal de las series anuales de precipitación mostró la presencia de años secos y años húmedos cuyo comportamiento es bastante cíclico entre la XV y II Región con períodos húmedos y secos alternados de duración aproximada 5 años. Las estaciones de la III Región en cambio muestran un comportamiento diferente sin ciclos definidos y años muy secos o muy húmedos, donde los valores máximos alcanzan hasta un 400% encima del valor medio. El análisis espacio-temporal de las precipitaciones mostró que el comportamiento espacial es más uniforme que el temporal, observándose que los años secos y húmedos se presentan simultáneamente en todas las estaciones, especialmente en la XV, I y III Región. En cambio en la III Región este comportamiento es más independiente. Se determinó la dependencia temporal de las series de precipitación a nivel anual y mensual mediante la elaboración de correlogramas. Estos correlogramas mostraron que las series anuales y mensuales son temporalmente independientes. En cuanto a la periodicidad, los correlogramas a nivel mensual mostraron una marcada periodicidad de 12 meses. No se observan periodicidades marcadas a nivel anual. Las curvas de almacenamiento ( $S_n$ ) a nivel anual y mensual de las precipitaciones permitieron observar ciclos de abundancia en lo que la magnitud de agua caída supera consistentemente el promedio, y los de escasez en que los valores no alcanzan el promedio. El análisis de déficit de precipitación respecto a la media de

largo plazo permitió determinar la duración ( $L^*$ ) y magnitud ( $M^*$ ) máximas de las sequías a nivel anual y mensual. A nivel mensual la duración máxima varía entre 10 meses (Parinacota ex Endesa) y 150 meses (Azapa) con magnitudes máximas que se encuentran entre 1,6 mm (Quillagua) y 533,4 mm (Chucuyo Retén). A nivel anual la duración máxima varía entre 3 años (Chungara Reten, Enquelca (ex Caraguano), Putre (DCP), Pampa Lirima, Silala, Conchi Muro Embalse y Sierra Gorda)) y 12 años (Lequena) con magnitudes máximas entre 1,4 mm (Quillagua) y 1158,4 mm (Humapalca). Se caracterizó el comportamiento espacial y temporal de los escurrimientos en la zona en estudio. Los registros de escurrimiento al interior de las cuencas altiplánicas son escasos. De las 52 estaciones de la DGA seleccionadas para el análisis, 21 se ubican al interior de las cuencas, 8 en la XV Región, 6 en la I Región, 7 en la III Región y ninguna en la II Región. Las series anuales de escurrimientos al interior de las cuencas altiplánicas varían entre 0,02 y 2,71 m<sup>3</sup>/s mostrando gran estabilidad interanual. Sin embargo algunas series muestran la presencia de crecidas esporádicas. Las series de gasto medio mensual en las estaciones en las cuencas altiplánicas muestran en general cierta regularidad a lo largo de los meses del año, sin embargo algunas series muestran aumentos de caudal especialmente en los meses de febrero y marzo. El análisis espacio-temporal de las series anuales de caudales mostró que el comportamiento espacial es más uniforme que el temporal, notándose que los años muy húmedos y húmedos tienden a ocurrir simultáneamente en todas las estaciones. Un comportamiento similar se observa en los años secos y muy secos. Los correlogramas de las series anuales y mensuales de escurrimientos en general son temporalmente independientes. Sin embargo, se observan algunas series con memoria larga tales como las registradas en las estaciones Río Batea en Confluencia, Río San Pedro en Parshall N°1 y Río Loa en Conchi, entre otras. En cuanto a la periodicidad, se observa en la mayoría de las estaciones seleccionadas una marcada periodicidad de 12 meses. A nivel anual no es posible observar periodicidades marcadas. Las curvas de almacenamiento ( $S_n$ ) a nivel anual y mensual de los escurrimientos detectan que en general los ciclos de escasez superan los 10 años de duración.

**26. Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. ETAPA 2 Informe Final Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. DGA S.I.T. N° 195. Diciembre de 2009. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile.**

Este estudio, realizado entre los años 2007 y 2009, se enmarca en un convenio de cooperación e investigación científica aplicada entre la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (DIHA) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). La investigación o acción de apoyo tuvo como objetivo fundamental el levantamiento, generación y análisis de información hidrogeológica para avanzar en el estudio de los recursos hídricos del sector chileno del Altiplano. En este contexto, este estudio pretende ser un apoyo concreto para el desarrollo de nuevas fuentes de agua subterránea en áreas prioritarias del norte de Chile. El estudio consistió en el desarrollo de una serie de trabajos de terreno y gabinete, tanto a nivel regional como local. Los resultados obtenidos se presentan en 10 informes o partes independientes, cuyos contenidos son los siguientes: • Parte I Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. • Parte II Geología Regional del Altiplano de Chile. • Parte III Hidrología Regional del Altiplano de Chile. • Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. •

Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. • Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. • Parte VII Medición de la Evaporación Mediante Método del “Domo”. • Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. • Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tepas y Colorada. • Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. Cada parte está estructurada de manera de ser autocontenida y poder ser utilizada para fines y materias específicas. Sin perjuicio de lo anterior, las Parte VIII, IX y X que consideran el estudio de sistemas pilotos, hacen referencias y utilizan resultados de los estudios a nivel regional (Partes I, II, III y IV) y de los trabajos de terreno (Partes V, VI y VII).

En esta parte del estudio, de carácter regional, se generó una base de datos con información sobre la calidad y composición isotópica del agua a partir de los antecedentes disponibles de la Dirección General de Aguas (DGA), complementados con antecedentes bibliográficos especializados y artículos publicados en revistas, congresos y seminarios, tanto nacionales como internacionales, públicos y privados. Con esto se generó un diagnóstico del conocimiento hidrogeoquímico de todo el sector altiplánico en las regiones que abarca el estudio, dando cuenta de los antecedentes disponibles, su confiabilidad y falencias.

**27. Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. ETAPA 2 Informe Final Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. DGA S.I.T. N° 195. Diciembre de 2009. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile.**

Este estudio, realizado entre los años 2007 y 2009, se enmarca en un convenio de cooperación e investigación científica aplicada entre la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (DIHA) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). La investigación o acción de apoyo tuvo como objetivo fundamental el levantamiento, generación y análisis de información hidrogeológica para avanzar en el estudio de los recursos hídricos del sector chileno del Altiplano. En este contexto, este estudio pretende ser un apoyo concreto para el desarrollo de nuevas fuentes de agua subterránea en áreas prioritarias del norte de Chile. El estudio consistió en el desarrollo de una serie de trabajos de terreno y gabinete, tanto a nivel regional como local. Los resultados obtenidos se presentan en 10 informes o partes independientes, cuyos contenidos son los siguientes: • Parte I Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. • Parte II Geología Regional del Altiplano de Chile. • Parte III Hidrología Regional del Altiplano de Chile. • Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. • Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. • Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. • Parte VII Medición de la Evaporación Mediante Método del “Domo”. • Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. • Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tepas y Colorada. • Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. Cada parte está estructurada de manera de ser autocontenida y poder ser utilizada para fines y materias específicas. Sin perjuicio de lo anterior, las Parte VIII, IX y X que consideran el estudio de sistemas pilotos, hacen referencias y utilizan resultados de los estudios a nivel regional (Partes I, II, III y IV) y de los trabajos de terreno (Partes V, VI y VII).

Uno de los aspectos fundamentales de esta investigación lo constituye la instalación de 12 estaciones meteorológicas en el Altiplano entre la I y III Región, las que miden precipitación

y en algunos casos otras variables como temperatura y humedad del aire y del suelo. Adicionalmente, se realizaron en todos los sistemas, mediciones in-situ de evaporación desde la napa, utilizando la metodología del domo o semiesfera acrílica propuesta por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). Estos datos son importantes para realizar el balance hídrico de los sistemas y de especial relevancia para la estimación de la recarga en cuencas cerradas.

La instalación de la red de monitoreo en el marco del estudio de las cuencas del altiplano y la puna de Chile tuvo por objetivo cubrir zonas con déficit de información, así como conocer la variabilidad espacial de la precipitación en un área menor como es una cuenca hidrográfica. En total se instalaron 12 estaciones en tres de las cuatro Regiones administrativas en que se desarrolla el estudio. De este total, ocho corresponden a pluviómetros y cuatro incorporan además sensores de temperatura y humedad del aire y del suelo. Para llevar a cabo estas tareas se realizó una campaña de terreno previa, con el objeto de reconocer la zona y seleccionar los lugares definitivos donde se ubicaron los equipos. Los criterios para esto fueron entre otros la accesibilidad, cobertura de información y seguridad. Este último criterio es preponderante considerando la distancia desde centros poblados a la que se encuentran. Se espera que los datos recolectados en el tiempo con la red de monitoreo implementada puedan dar luces acerca de cómo es en realidad la precipitación en zonas que actualmente carecen de información. En particular, la cordillera de la III Región tiene estimaciones de lluvia media anual en base a isoyetas desde 1987, con el Balance Hídrico de Chile y la actualización realizada en este mismo estudio. Otros parámetros medidos permitirían aportar a la información que actualmente existe, mejorando los análisis. De cualquier forma, lo que se sugiere es avanzar en la implementación de una red de monitoreo, concentrando los esfuerzos en zonas de menor tamaño para conocer las magnitudes y variaciones espacial y temporal de los fenómenos.

28. **Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. ETAPA 2** Informe Final Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. DGA S.I.T. N° 195. Diciembre de 2009. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile.

Este estudio, realizado entre los años 2007 y 2009, se enmarca en un convenio de cooperación e investigación científica aplicada entre la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (DIHA) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). La investigación o acción de apoyo tuvo como objetivo fundamental el levantamiento, generación y análisis de información hidrogeológica para avanzar en el estudio de los recursos hídricos del sector chileno del Altiplano. En este contexto, este estudio pretende ser un apoyo concreto para el desarrollo de nuevas fuentes de agua subterránea en áreas prioritarias del norte de Chile. El estudio consistió en el desarrollo de una serie de trabajos de terreno y gabinete, tanto a nivel regional como local. Los resultados obtenidos se presentan en 10 informes o partes independientes, cuyos contenidos son los siguientes: • Parte I Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. • Parte II Geología Regional del Altiplano de Chile. • Parte III Hidrología Regional del Altiplano de Chile. • Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. • Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. • Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. • Parte VII Medición de la Evaporación Mediante Método del

“Domo”. • Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. • Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tecas y Colorada. • Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. Cada parte está estructurada de manera de ser autocontenida y poder ser utilizada para fines y materias específicas. Sin perjuicio de lo anterior, las Parte VIII, IX y X que consideran el estudio de sistemas pilotos, hacen referencias y utilizan resultados de los estudios a nivel regional (Partes I, II, III y IV) y de los trabajos de terreno (Partes V, VI y VII).

En esta parte del estudio se realizaron tres campañas de terreno para muestrear aguas. La primera, desarrollada durante el mes de mayo del 2008, se llevó a cabo en la Tercera Región de Atacama, en las cuencas de los salares de Pedernales y Maricunga. La segunda campaña, correspondiente al muestreo de aguas en la Primera Región de Tarapacá, específicamente en la cuenca del Salar del Huasco, fue ejecutada en Septiembre del 2008. Finalmente, la tercera campaña incluyó la recolección de muestras en 7 cuencas ubicadas en la franja altiplánica de la Segunda Región de Antofagasta.

Durante las campañas de terreno se muestreó un total de 76 puntos distribuidos en la zona de estudio. De estos, 21 corresponden a muestras de agua tomadas en la cuenca del Salar del Huasco, 23 corresponden a siete cuencas altiplánicas de la Segunda Región y las 32 restantes a muestras colectadas en las cuencas de Maricunga y Pedernales. A todas las muestras se les realizaron análisis químicos e isotópicos en laboratorio, además de análisis físicos y químicos en terreno. Adicionalmente se determinó el nivel estático y coordenadas en más de 25 pozos. La definición de los puntos a muestrear se basó en el estudio de los antecedentes previos existentes, en el sentido de privilegiar sectores con escasa información y de importancia para la comprensión de los sistemas. Además se escogieron puntos factibles de ser muestreados en los plazos disponibles. Durante las campañas de terreno no fue posible muestrear algunos sectores de importancia, que podrían contribuir con valiosa información. Entre estos se encuentran las zonas oeste y noroeste de la cuenca del Salar del Huasco y el sector sureste de la cuenca del Salar de Aguas Calientes 2. Se espera que los resultados obtenidos ayuden en la comprensión del funcionamiento de los sistemas subterráneos en las diferentes zonas estudiadas.

**29. Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. ETAPA 2 Informe Final Parte VII Medición de la Evaporación mediante el Método del “Domo”. DGA S.I.T. N° 195. Diciembre de 2009. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile.**

Este estudio, realizado entre los años 2007 y 2009, se enmarca en un convenio de cooperación e investigación científica aplicada entre la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (DIHA) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). La investigación o acción de apoyo tuvo como objetivo fundamental el levantamiento, generación y análisis de información hidrogeológica para avanzar en el estudio de los recursos hídricos del sector chileno del Altiplano. En este contexto, este estudio pretende ser un apoyo concreto para el desarrollo de nuevas fuentes de agua subterránea en áreas prioritarias del norte de Chile. El estudio consistió en el desarrollo de una serie de trabajos de terreno y gabinete, tanto a nivel regional como local. Los resultados obtenidos se presentan en 10 informes o partes independientes, cuyos contenidos son los siguientes: • Parte I Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. •

Parte II Geología Regional del Altiplano de Chile. • Parte III Hidrología Regional del Altiplano de Chile. • Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. • Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. • Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. • Parte VII Medición de la Evaporación Mediante Método del “Domo”. • Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. • Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tecas y Colorada. • Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. Cada parte está estructurada de manera de ser autocontenida y poder ser utilizada para fines y materias específicas. Sin perjuicio de lo anterior, las Parte VIII, IX y X que consideran el estudio de sistemas pilotos, hacen referencias y utilizan resultados de los estudios a nivel regional (Partes I, II, III y IV) y de los trabajos de terreno (Partes V, VI y VII).

Esta parte del estudio está orientada a la caracterización de la evaporación desde napas freáticas someras a través de los suelos. La información generada en terreno fue procesada y sintetizada con el fin de incrementar el escaso conocimiento relacionado con la evaporación desde salares del altiplano existente en la actualidad. En el presente informe se describe la realización de 3 campañas de terreno con el objetivo de caracterizar las tasas de evaporación y determinar su relación con la profundidad a la que se encuentra la napa subterránea. Durante el mes de diciembre de 2007 se trabajó en las cuencas altiplánicas de la Segunda Región (Laguna Tuyajto, Salar de El Laco y Salar de Aguas Calientes 2), mientras una segunda campaña se hizo durante el mes de marzo de 2008 en las cuencas de la III Región (Pedernales y Maricunga). Por último, durante el mes de abril de 2008 se llevó a cabo la campaña de terreno en la Primera Región, en la cuenca del Salar del Huasco. De estos trabajos se obtuvo estimaciones de evaporación desde aguas subterráneas someras en más de 45 puntos agrupados en 12 zonas representativas del área de estudio. Adicionalmente se realizaron análisis de laboratorio a los suelos de las zonas de medición y se determinó en terreno la tasa de evaporación desde superficies libres mediante la implementación de tanques evaporímetros estándar y otros construidos en terreno. La metodología empleada para determinar los flujos de evaporación desde napas freáticas fue la propuesta por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS)<sup>1</sup>, denominada metodología del Domo. Esta herramienta permite medir descargas desde el acuífero de forma directa sobre la superficie del terreno.

Se midieron tasas de evaporación diaria desde napas freáticas en 49 puntos en las cuencas del Salar del Huasco (16), Laguna Tuyajto (8), Salar de El Laco (4), Salar de Aguas Calientes 2 (4), Salar de Pedernales (8) y Salar de Maricunga (9), contribuyendo en forma considerable al aumento de la información existente en la zona. En 9 de las 12 zonas monitoreadas dentro de estas cuencas se cuantificaron también tasas de evaporación desde superficies de agua libre. Las mediciones se realizaron con tanques evaporímetros Clase A presentes en el lugar o a través de la construcción “in situ” de tanques plásticos, instalados dentro de lagunas y afloramientos. Adicionalmente, basados en la información histórica de más de 50 estaciones meteorológicas DGA, se ajustaron curvas de evaporación en función de la altura para las Regiones XV, I, II y III. Dicho análisis incluye información histórica comprendida entre 1960 y 2007. Se estimaron además ajustes para la franja altiplánica de las Regiones I y II. Se determinó la textura de los suelos en los puntos en que se cuantificó la evaporación, usando para esta clasificación los resultados de los análisis granulométricos practicados a las muestras. Por lo general los suelos presentaron un alto contenido de sales y una granulometría gruesa, con predominio de partículas de arena. Según las mediciones realizadas en terreno,

las tasas de evaporación desde el suelo dependen principalmente de la demanda evaporativa de la atmósfera (condiciones climáticas) y de la composición litológica de la zona no saturada del perfil (textura). De acuerdo a los análisis efectuados, se concluye que el domo entrega valores para la evaporación desde napas freáticas someras comparables con los registros realizados mediante metodologías alternativas como lisímetros y microlisímetros. Por lo tanto, el domo puede ser considerado como una herramienta confiable para realizar estimaciones puntuales de evaporación. En términos generales, la curva propuesta por Morel-Seytoux para el ajuste de la evaporación como función de la profundidad de la napa es la que presenta el mejor grado de ajuste con los datos normalizados de las mediciones en terreno. Las curvas de ajuste propuestas para las tres Regiones en que se trabajó pueden contribuir en la comprensión y determinación de los flujos de descarga por evaporación en las distintas zonas de estudio. Por su parte, la curva resumen de todas las mediciones realizadas en el norte del país puede ser utilizada como una primera aproximación al problema de las descargas en el largo plazo.

30. **Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. ETAPA 2** Informe Final Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. DGA S.I.T. N° 195. Diciembre de 2009. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile. Este estudio, realizado entre los años 2007 y 2009, se enmarca en un convenio de cooperación e investigación científica aplicada entre la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (DIHA) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). La investigación o acción de apoyo tuvo como objetivo fundamental el levantamiento, generación y análisis de información hidrogeológica para avanzar en el estudio de los recursos hídricos del sector chileno del Altiplano. En este contexto, este estudio pretende ser un apoyo concreto para el desarrollo de nuevas fuentes de agua subterránea en áreas prioritarias del norte de Chile. El estudio consistió en el desarrollo de una serie de trabajos de terreno y gabinete, tanto a nivel regional como local. Los resultados obtenidos se presentan en 10 informes o partes independientes, cuyos contenidos son los siguientes: • Parte I Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. • Parte II Geología Regional del Altiplano de Chile. • Parte III Hidrología Regional del Altiplano de Chile. • Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. • Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. • Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. • Parte VII Medición de la Evaporación Mediante Método del “Domo”. • Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. • Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Texas y Colorada. • Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. Cada parte está estructurada de manera de ser autocontenida y poder ser utilizada para fines y materias específicas. Sin perjuicio de lo anterior, las Parte VIII, IX y X que consideran el estudio de sistemas pilotos, hacen referencias y utilizan resultados de los estudios a nivel regional (Partes I, II, III y IV) y de los trabajos de terreno (Partes V, VI y VII).

El objetivo de esta parte del estudio es presentar una caracterización hidrogeológica de la cuenca piloto de la I Región de Tarapacá, a través del análisis y síntesis de la información disponible. Se busca cuantificar con esta información los flujos de entrada y salida de la cuenca e identificar datos y tareas adicionales que se requieren para definir adecuadamente la geometría y propiedades de él o los acuíferos. Se presenta en los contenidos una descripción

de la hidrografía y geomorfología, hidrología, geología, hidrogeoquímica e hidrogeología de la(s) cuenca(s), además de los balances hídricos de recarga y descarga.

31. **Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. ETAPA 2** Informe Final Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tecas y Colorada. DGA S.I.T. N° 195. Noviembre de 2009. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile. Este estudio, realizado entre los años 2007 y 2009, se enmarca en un convenio de cooperación e investigación científica aplicada entre la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (DIHA) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). La investigación o acción de apoyo tuvo como objetivo fundamental el levantamiento, generación y análisis de información hidrogeológica para avanzar en el estudio de los recursos hídricos del sector chileno del Altiplano. En este contexto, este estudio pretende ser un apoyo concreto para el desarrollo de nuevas fuentes de agua subterránea en áreas prioritarias del norte de Chile. El estudio consistió en el desarrollo de una serie de trabajos de terreno y gabinete, tanto a nivel regional como local. Los resultados obtenidos se presentan en 10 informes o partes independientes, cuyos contenidos son los siguientes: • Parte I Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. • Parte II Geología Regional del Altiplano de Chile. • Parte III Hidrología Regional del Altiplano de Chile. • Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. • Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. • Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. • Parte VII Medición de la Evaporación Mediante Método del “Domo”. • Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. • Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tecas y Colorada. • Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. Cada parte está estructurada de manera de ser autocontenida y poder ser utilizada para fines y materias específicas. Sin perjuicio de lo anterior, las Partes VIII, IX y X que consideran el estudio de sistemas pilotos, hacen referencias y utilizan resultados de los estudios a nivel regional (Partes I, II, III y IV) y de los trabajos de terreno (Partes V, VI y VII). El objetivo de esta parte del estudio es presentar una caracterización hidrogeológica de las cuencas piloto de la Región de Antofagasta, a través del análisis y síntesis de la información disponible. Se busca cuantificar con esta información los flujos de entrada y salida de la cuenca e identificar datos y tareas adicionales que se requieren para definir adecuadamente la geometría y propiedades de él o los acuíferos. Se presenta en los contenidos una descripción de la hidrografía y geomorfología, hidrología, geología, hidrogeoquímica e hidrogeología de las cuencas, además de los balances hídricos de recarga y descarga.

32. **Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. ETAPA 2** Informe Final Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. DGA S.I.T. N° 195. Noviembre de 2009. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile.

Este estudio, realizado entre los años 2007 y 2009, se enmarca en un convenio de cooperación e investigación científica aplicada entre la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (DIHA) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). La investigación o acción de apoyo tuvo

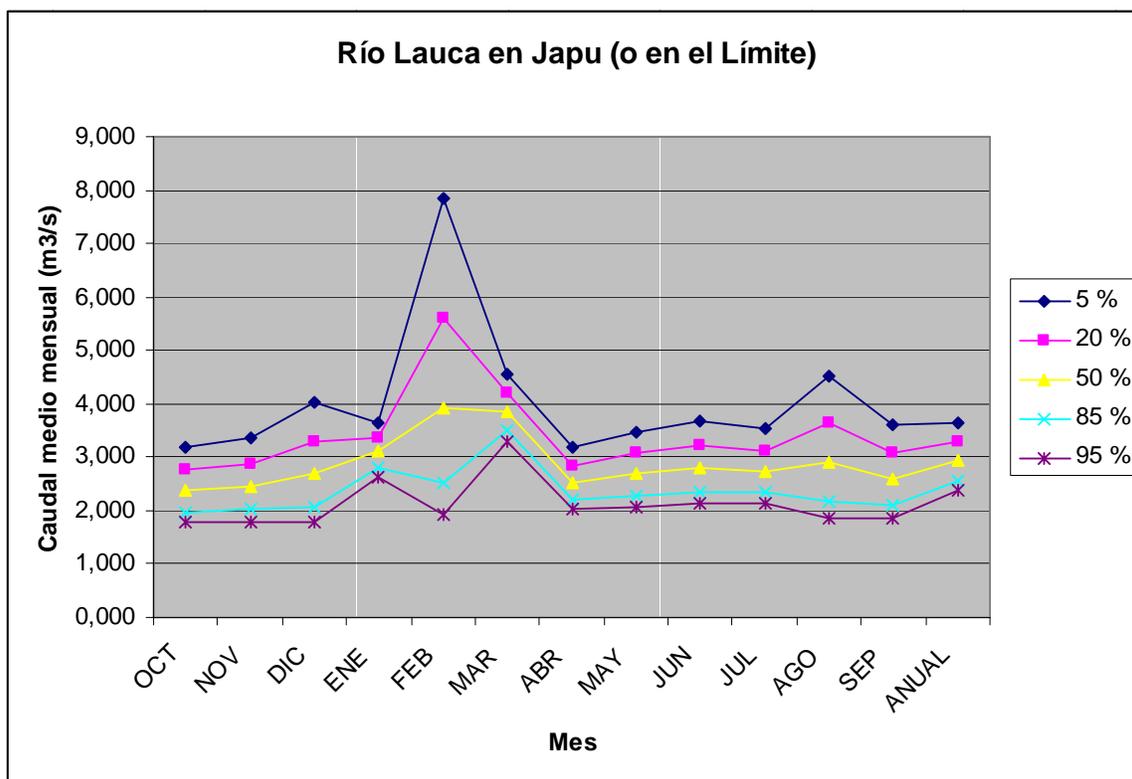
como objetivo fundamental el levantamiento, generación y análisis de información hidrogeológica para avanzar en el estudio de los recursos hídricos del sector chileno del Altiplano. En este contexto, este estudio pretende ser un apoyo concreto para el desarrollo de nuevas fuentes de agua subterránea en áreas prioritarias del norte de Chile. El estudio consistió en el desarrollo de una serie de trabajos de terreno y gabinete, tanto a nivel regional como local. Los resultados obtenidos se presentan en 10 informes o partes independientes, cuyos contenidos son los siguientes: • Parte I Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. • Parte II Geología Regional del Altiplano de Chile. • Parte III Hidrología Regional del Altiplano de Chile. • Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. • Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. • Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. • Parte VII Medición de la Evaporación Mediante Método del “Domo”. • Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. • Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tecas y Colorada. • Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. Cada parte está estructurada de manera de ser autocontenida y poder ser utilizada para fines y materias específicas. Sin perjuicio de lo anterior, las Parte VIII, IX y X que consideran el estudio de sistemas pilotos, hacen referencias y utilizan resultados de los estudios a nivel regional (Partes I, II, III y IV) y de los trabajos de terreno (Partes V, VI y VII).

El objetivo de esta parte del estudio es presentar una caracterización hidrogeológica de las cuencas piloto de la Región de Atacama, a través del análisis y síntesis de la información disponible. Se busca cuantificar con esta información los flujos de entrada y salida de las cuencas e identificar datos y tareas adicionales que se requieren para definir adecuadamente la geometría y propiedades de él o de los acuíferos. Se presenta en los contenidos una descripción de la hidrografía y geomorfología, hidrología, geología, hidrogeoquímica e hidrogeología de las cuencas, además de los balances hídricos de recarga y descarga.

## **Anexo II**

# **CURVAS DE VARIACIÓN ESTACIONAL**

### Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 01021001-1 : Río Lauca en Japu (o en el Límite) (m3/s)**

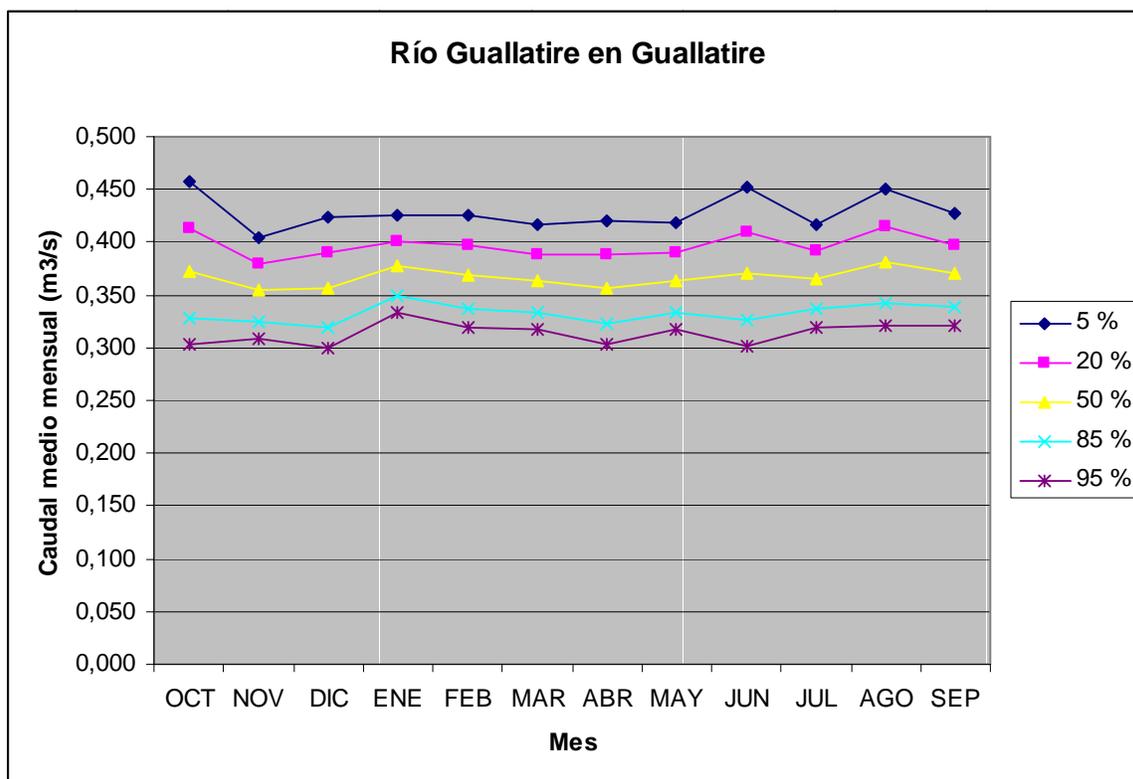
Pr_Exc	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
5 %	3,180	3,356	4,016	3,652	7,861	4,554	3,174	3,476	3,665	3,538	4,523	3,602	3,654
20 %	2,755	2,880	3,297	3,374	5,586	4,205	2,845	3,067	3,209	3,124	3,639	3,065	3,288
50 %	2,371	2,454	2,682	3,105	3,905	3,868	2,536	2,691	2,791	2,743	2,897	2,588	2,943
85 %	1,971	2,014	2,079	2,803	2,513	3,491	2,201	2,289	2,351	2,336	2,188	2,102	2,568
95 %	1,769	1,794	1,791	2,639	1,940	3,286	2,026	2,082	2,126	2,126	1,855	1,860	2,371
Dist.	LN												

**Fuente:** Actualización Recursos Hídricos para Restablecimiento de Derechos Ancestrales Indígenas I y II Regiones. DGA. Año 2001.

**Donde:** Pr\_Exc (%) corresponde a la probabilidad de excedencia, y la fila Dist. Entrega la abreviatura de la distribución de mejor ajuste para el mes correspondiente. La abreviatura corresponde a lo siguiente:

Distribución	Abreviatura
Normal	: N
Log-Normal	: LN
Log-Normal 3 parámetros	: L3
Gumbel o de Valores Extremos Tipo I	: G
Gamma 2 parámetros	: G2
Pearson Tipo III	: P3
Log-Gamma 2 parámetros	: LG
Log-Pearson tipo III	: LP

## Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 01021002-k : Río Guallatire en Guallatire (m3/s)**

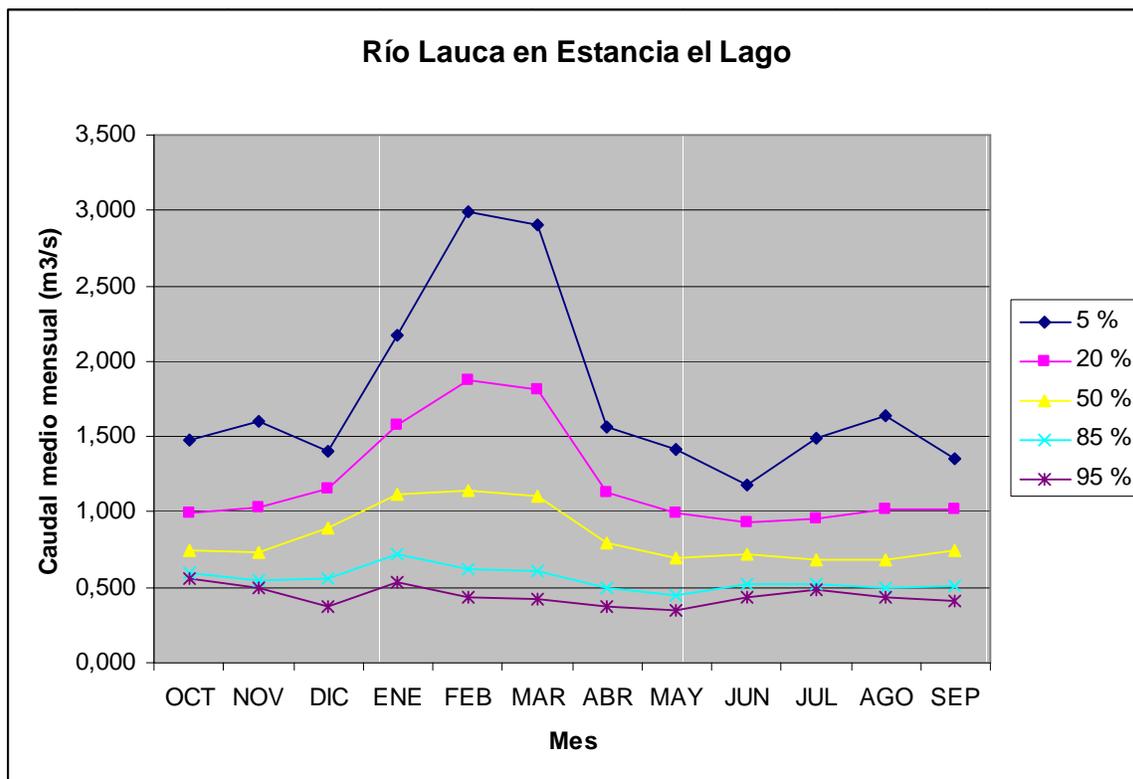
Pr_Exc	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
5 %	0,457	0,405	0,424	0,426	0,426	0,416	0,420	0,418	0,452	0,417	0,451	0,427	0,411
20 %	0,414	0,380	0,390	0,401	0,397	0,389	0,388	0,390	0,410	0,391	0,415	0,398	0,390
50 %	0,373	0,354	0,357	0,377	0,369	0,363	0,357	0,364	0,370	0,366	0,381	0,370	0,368
85 %	0,328	0,325	0,320	0,349	0,337	0,333	0,323	0,333	0,326	0,336	0,342	0,338	0,343
95 %	0,304	0,309	0,300	0,333	0,320	0,317	0,304	0,317	0,302	0,320	0,321	0,321	0,329
Dist.	LN												

**Fuente:** Actualización Recursos Hídricos para Restablecimiento de Derechos Ancestrales Indígenas I y II Regiones. DGA. Año 2001.

**Donde:** Pr\_Exc (%) corresponde a la probabilidad de excedencia, y la fila Dist. Entrega la abreviatura de la distribución de mejor ajuste para el mes correspondiente. La abreviatura corresponde a lo siguiente:

Distribución	Abreviatura
Normal	: N
Log-Normal	: LN
Log-Normal 3 parámetros	: L3
Gumbel o de Valores Extremos Tipo I	: G
Gamma 2 parámetros	: G2
Pearson Tipo III	: P3
Log-Gamma 2 parámetros	: LG
Log-Pearson tipo III	: LP

### Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 01020003-2 : Río Lauca en Estancia el Lago (m3/s)**

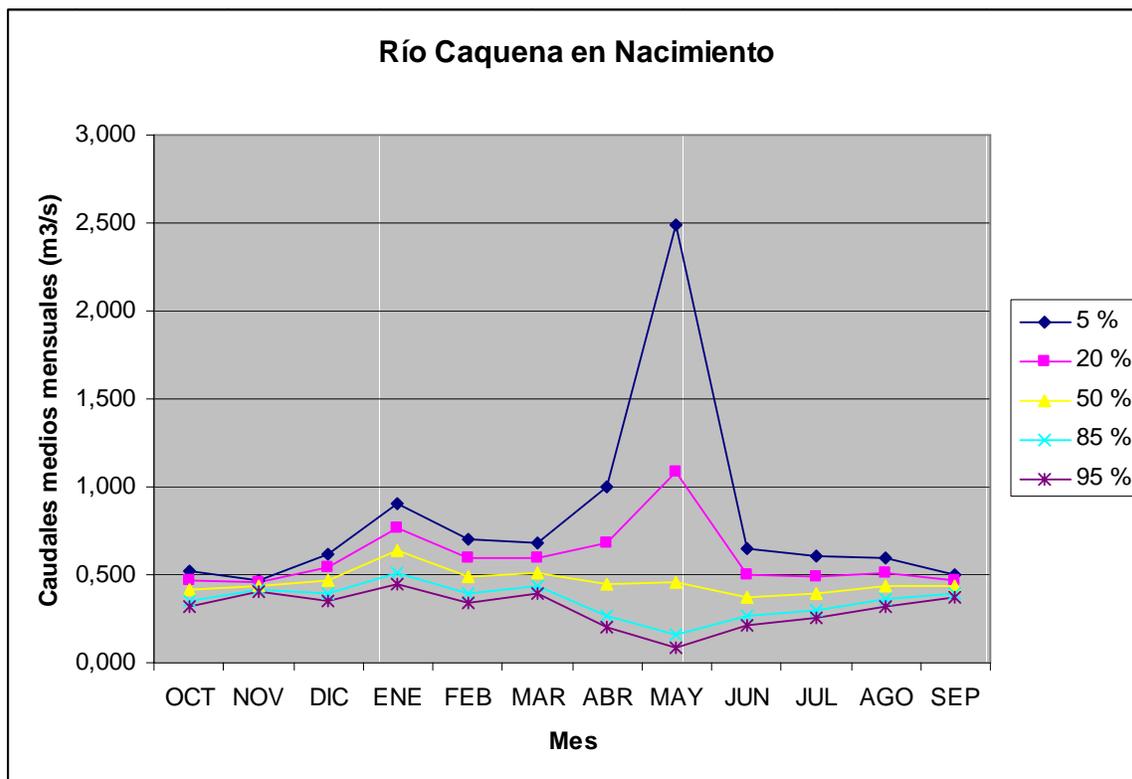
Pr_Exc	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
5 %	1,479	1,600	1,404	2,170	2,995	2,900	1,563	1,409	1,184	1,491	1,634	1,355	1,765
20 %	0,994	1,034	1,152	1,578	1,871	1,811	1,131	0,999	0,927	0,957	1,015	1,012	1,207
50 %	0,740	0,729	0,888	1,122	1,143	1,106	0,798	0,697	0,717	0,679	0,684	0,745	0,837
85 %	0,597	0,550	0,562	0,717	0,623	0,602	0,502	0,448	0,523	0,523	0,493	0,511	0,554
95 %	0,556	0,498	0,371	0,533	0,436	0,422	0,368	0,345	0,434	0,479	0,437	0,410	0,441
Dist.	L3	L3	N	G	L2	L2	G	L2	L2	L3	L3	L2	

**Fuente:** Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivo de calidad. Cuenca Lauca. Año 2004.

**Donde:** Pr\_Exc (%) corresponde a la probabilidad de excedencia, y la fila Dist. Entrega la abreviatura de la distribución de mejor ajuste para el mes correspondiente. La abreviatura corresponde a lo siguiente:

Distribución	Abreviatura
Normal	: N
Log-Normal 2 parámetros	: LN
Log-Normal 3 parámetros	: L3
Gumbel o de Valores Extremos Tipo I	: G
Gamma 2 parámetros	: G2
Pearson Tipo III	: P3
Log-Gamma 2 parámetros	: LG
Log-Pearson tipo III	: LP

### Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 01201001-2 : Río Caquena en Nacimiento (m3/s)**

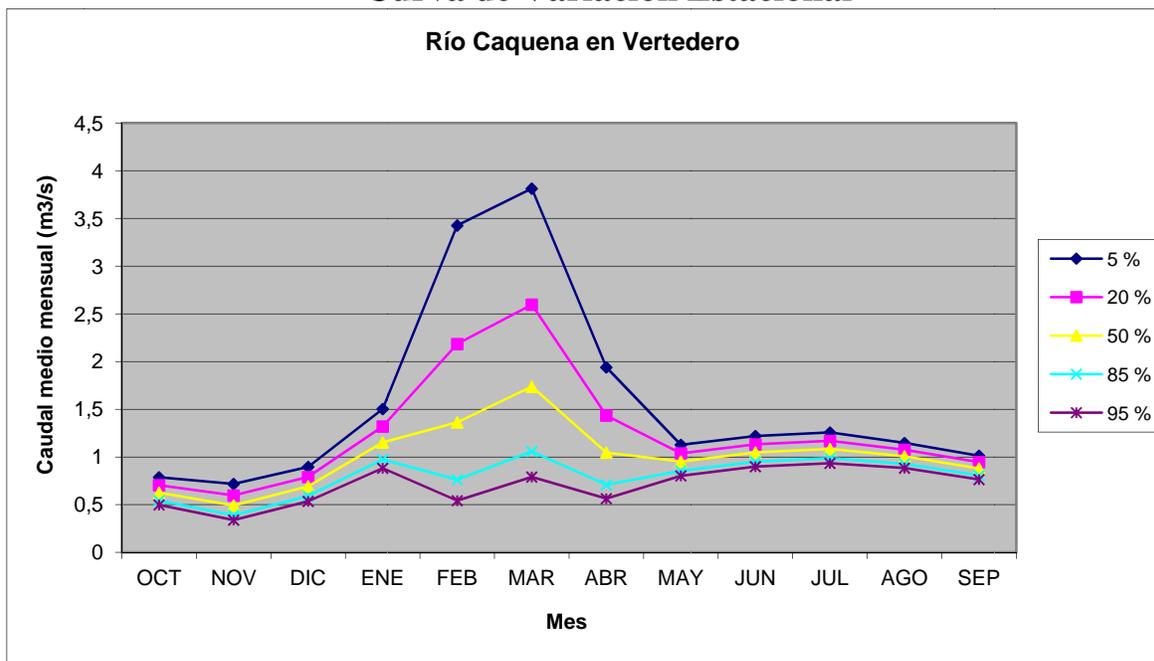
Pr_Exc	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
5 %	0,523	0,473	0,617	0,903	0,707	0,678	1,005	2,493	0,652	0,603	0,595	0,499	0,605
20 %	0,465	0,454	0,539	0,762	0,591	0,593	0,676	1,090	0,499	0,489	0,511	0,465	0,540
50 %	0,412	0,435	0,468	0,638	0,490	0,515	0,446	0,458	0,377	0,392	0,436	0,433	0,479
85 %	0,354	0,413	0,393	0,513	0,389	0,433	0,267	0,157	0,267	0,299	0,359	0,396	0,413
95 %	0,324	0,400	0,355	0,451	0,339	0,392	0,198	0,084	0,218	0,255	0,320	0,376	0,379
Dist.	LN												

**Fuente:** Actualización Recursos Hídricos para Restablecimiento de Derechos Ancestrales Indígenas I y II Regiones. DGA. Año 2001.

**Donde:** Pr\_Exc (%) corresponde a la probabilidad de excedencia, y la fila Dist. Entrega la abreviatura de la distribución de mejor ajuste para el mes correspondiente. La abreviatura corresponde a lo siguiente:

Distribución	Abreviatura
Normal	: N
Log-Normal	: LN
Log-Normal 3 parámetros	: L3
Gumbel o de Valores Extremos Tipo I	: G
Gamma 2 parámetros	: G2
Pearson Tipo III	: P3
Log-Gamma 2 parámetros	: LG
Log-Pearson tipo III	: LP

### Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 01201002-0 : Río Caquena en Vertedero (m3/s)**

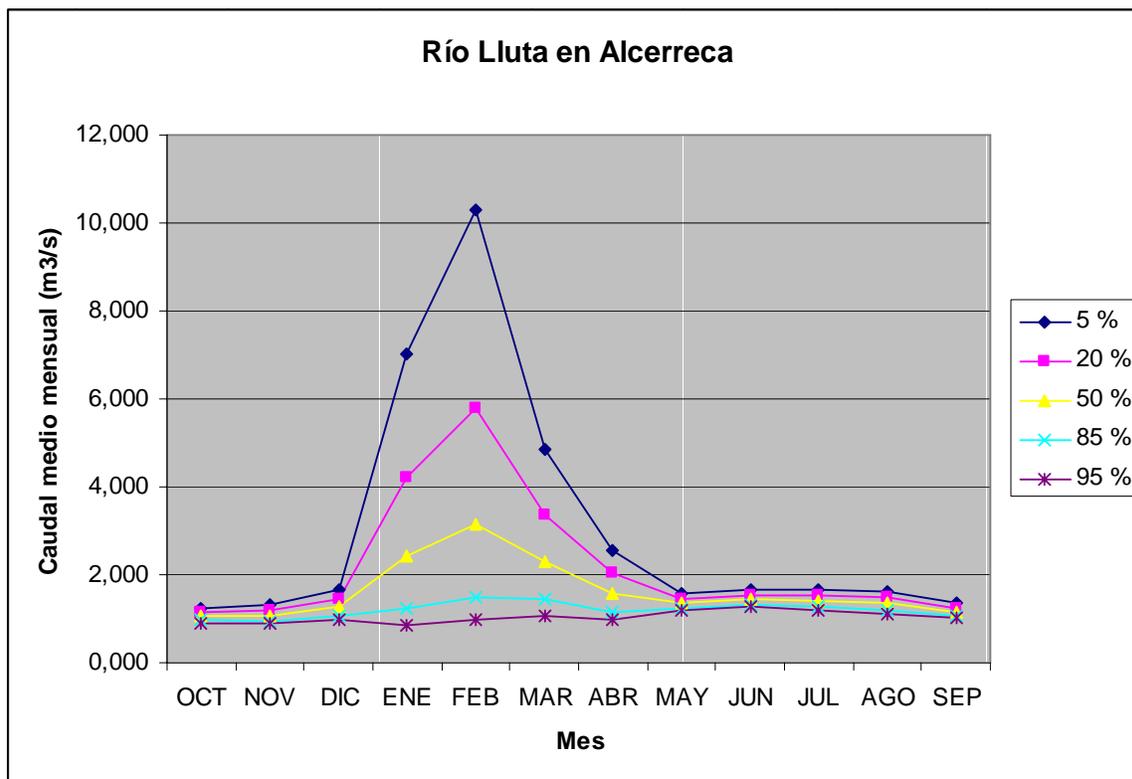
Pr_Exc	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
5 %	0,787	0,717	0,896	1,503	3,426	3,813	1,940	1,128	1,220	1,257	1,147	1,013	1,292
20 %	0,704	0,597	0,790	1,320	2,184	2,597	1,435	1,038	1,132	1,169	1,076	0,946	1,161
50 %	0,626	0,493	0,693	1,152	1,363	1,737	1,046	0,952	1,047	1,084	1,007	0,880	1,038
85 %	0,542	0,389	0,590	0,974	0,763	1,058	0,709	0,855	0,951	0,987	0,928	0,805	0,905
95 %	0,498	0,339	0,536	0,883	0,543	0,791	0,564	0,803	0,899	0,934	0,884	0,764	0,835
Dist.	LN												

**Fuente:** Actualización Recursos Hídricos para Restablecimiento de Derechos Ancestrales Indígenas I y II Regiones. DGA. Año 2001.

**Donde:** Pr\_Exc (%) corresponde a la probabilidad de excedencia, y la fila Dist. Entrega la abreviatura de la distribución de mejor ajuste para el mes correspondiente. La abreviatura corresponde a lo siguiente:

Distribución	Abreviatura
Normal	: N
Log-Normal	: LN
Log-Normal 3 parámetros	: L3
Gumbel o de Valores Extremos Tipo I	: G
Gamma 2 parámetros	: G2
Pearson Tipo III	: P3
Log-Gamma 2 parámetros	: LG
Log-Pearson tipo III	: LP

### Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 01201003-6 : Río Lluta en Alcerreca (m3/s)**

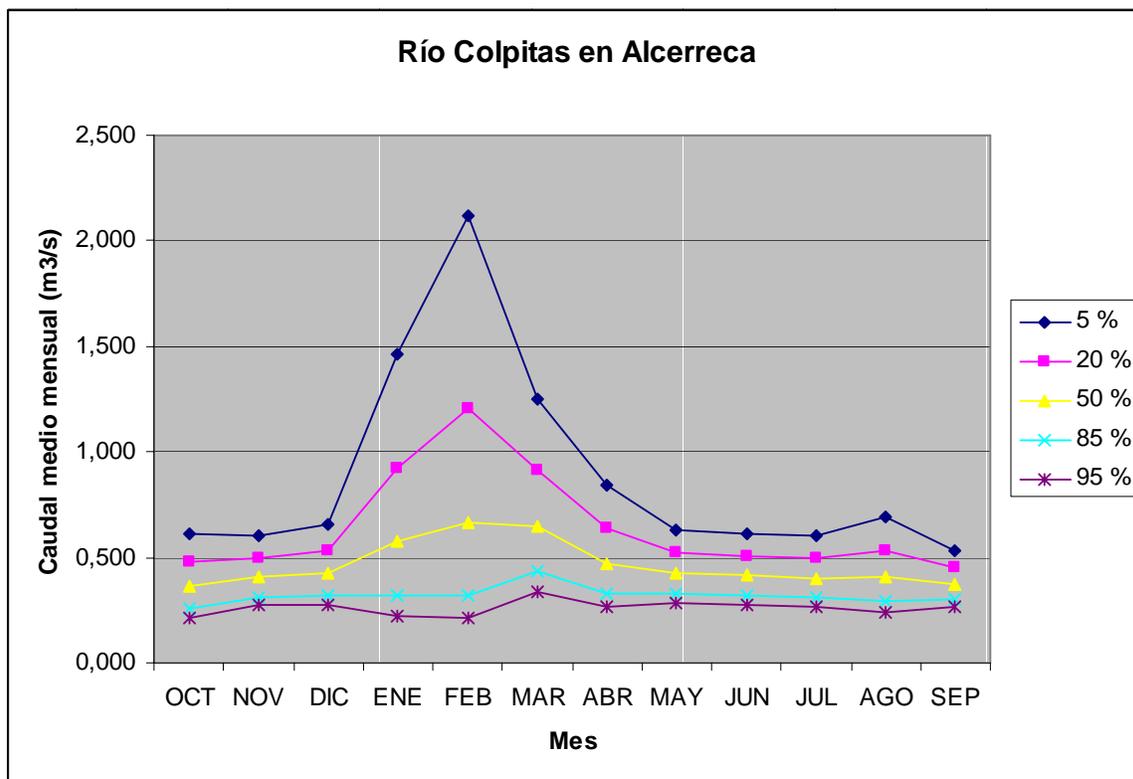
Pr_Exc	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
5 %	1,255	1,328	1,661	7,030	10,293	4,860	2,564	1,555	1,656	1,658	1,610	1,344	2,433
20 %	1,159	1,202	1,458	4,194	5,769	3,369	2,023	1,454	1,553	1,532	1,473	1,251	2,043
50 %	1,066	1,083	1,271	2,442	3,146	2,295	1,579	1,355	1,453	1,410	1,342	1,161	1,702
85 %	0,962	0,952	1,073	1,254	1,490	1,430	1,163	1,242	1,338	1,274	1,196	1,058	1,359
95 %	0,906	0,883	0,972	0,848	0,961	1,084	0,972	1,181	1,275	1,200	1,118	1,002	1,191
Dist.	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN

**Fuente:** Actualización Recursos Hídricos para Restablecimiento de Derechos Ancestrales Indígenas I y II Regiones. DGA. Año 2001.

**Donde:** Pr\_Exc (%) corresponde a la probabilidad de excedencia, y la fila Dist. Entrega la abreviatura de la distribución de mejor ajuste para el mes correspondiente. La abreviatura corresponde a lo siguiente:

Distribución	Abreviatura
Normal	: N
Log-Normal	: LN
Log-Normal 3 parámetros	: L3
Gumbel o de Valores Extremos Tipo I	: G
Gamma 2 parámetros	: G2
Pearson Tipo III	: P3
Log-Gamma 2 parámetros	: LG
Log-Pearson tipo III	: LP

### Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 01201001-k : Río Colpitas en Alcerreca (m3/s)**

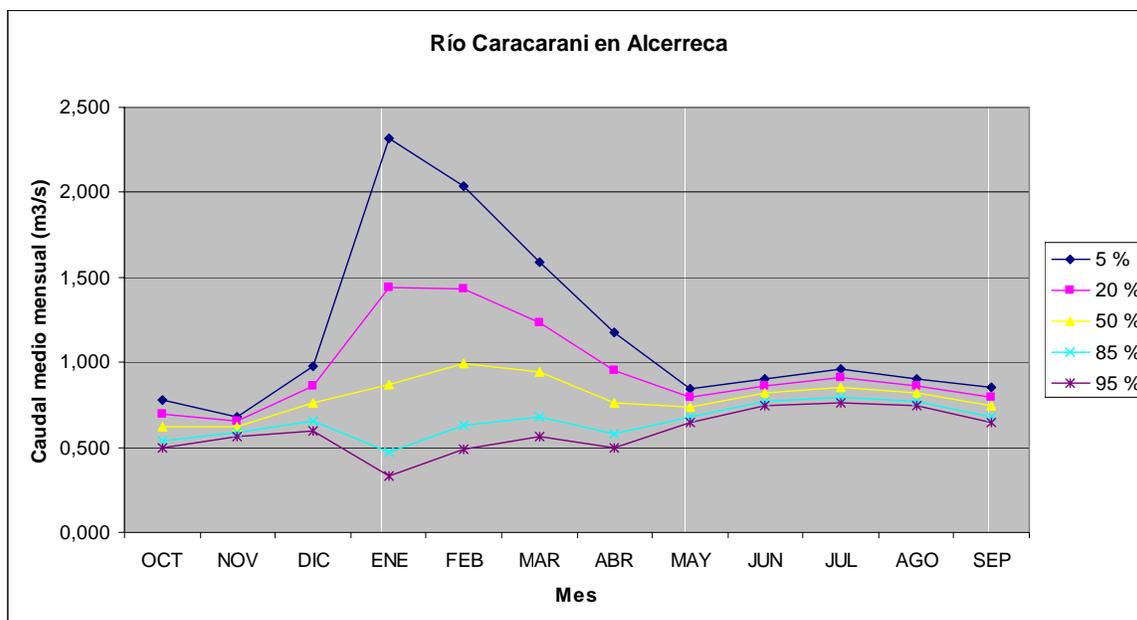
Pr_Exc	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL	AÑO
5 %	0,616	0,601	0,654	1,459	2,121	1,254	0,841	0,632	0,615	0,601	0,693	0,530	0,657	2001
20 %	0,476	0,495	0,529	0,925	1,205	0,910	0,636	0,521	0,506	0,493	0,534	0,448	0,569	2001
50 %	0,364	0,404	0,423	0,574	0,667	0,650	0,474	0,426	0,413	0,400	0,407	0,375	0,489	2001
85 %	0,261	0,314	0,321	0,319	0,321	0,430	0,330	0,332	0,321	0,309	0,291	0,302	0,405	2001
95 %	0,215	0,271	0,273	0,226	0,209	0,337	0,267	0,287	0,277	0,266	0,239	0,266	0,363	2001
Dist.	LN													

**Fuente:** Actualización Recursos Hídricos para Restablecimiento de Derechos Ancestrales Indígenas I y II Regiones. DGA. Año 2001.

**Donde:** Pr\_Exc (%) corresponde a la probabilidad de excedencia, y la fila Dist. Entrega la abreviatura de la distribución de mejor ajuste para el mes correspondiente. La abreviatura corresponde a lo siguiente:

Distribución	Abreviatura
Normal	: N
Log-Normal	: LN
Log-Normal 3 parámetros	: L3
Gumbel o de Valores Extremos Tipo I	: G
Gamma 2 parámetros	: G2
Pearson Tipo III	: P3
Log-Gamma 2 parámetros	: LG
Log-Pearson tipo III	: LP

### Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 01201002-8 : Río Caracarani en Alcerreca (m3/s)**

Pr_Exc	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
5 %	0,777	0,682	0,976	2,315	2,035	1,591	1,174	0,844	0,906	0,961	0,903	0,856	0,984
20 %	0,696	0,651	0,865	1,438	1,434	1,232	0,952	0,791	0,864	0,907	0,861	0,798	0,898
50 %	0,620	0,620	0,762	0,872	0,994	0,943	0,764	0,740	0,821	0,854	0,819	0,742	0,815
85 %	0,538	0,585	0,652	0,472	0,633	0,678	0,583	0,680	0,772	0,793	0,770	0,678	0,724
95 %	0,495	0,565	0,595	0,329	0,486	0,559	0,498	0,648	0,744	0,760	0,742	0,643	0,675
Dist.	LN												

**Fuente:** Actualización Recursos Hídricos para Restablecimiento de Derechos Ancestrales Indígenas I y II Regiones. DGA. Año 2001.

**Donde:** Pr\_Exc (%) corresponde a la probabilidad de excedencia, y la fila Dist. Entrega la abreviatura de la distribución de mejor ajuste para el mes correspondiente. La abreviatura corresponde a lo siguiente:

Distribución	Abreviatura
Normal	: N
Log-Normal	: LN
Log-Normal 3 parámetros	: L3
Gumbel o de Valores Extremos Tipo I	: G
Gamma 2 parámetros	: G2
Pearson Tipo III	: P3
Log-Gamma 2 parámetros	: LG
Log-Pearson tipo III	: LP

### Curva de Variación Estacional

Río Caracarani en Huamapalca (m3/s)

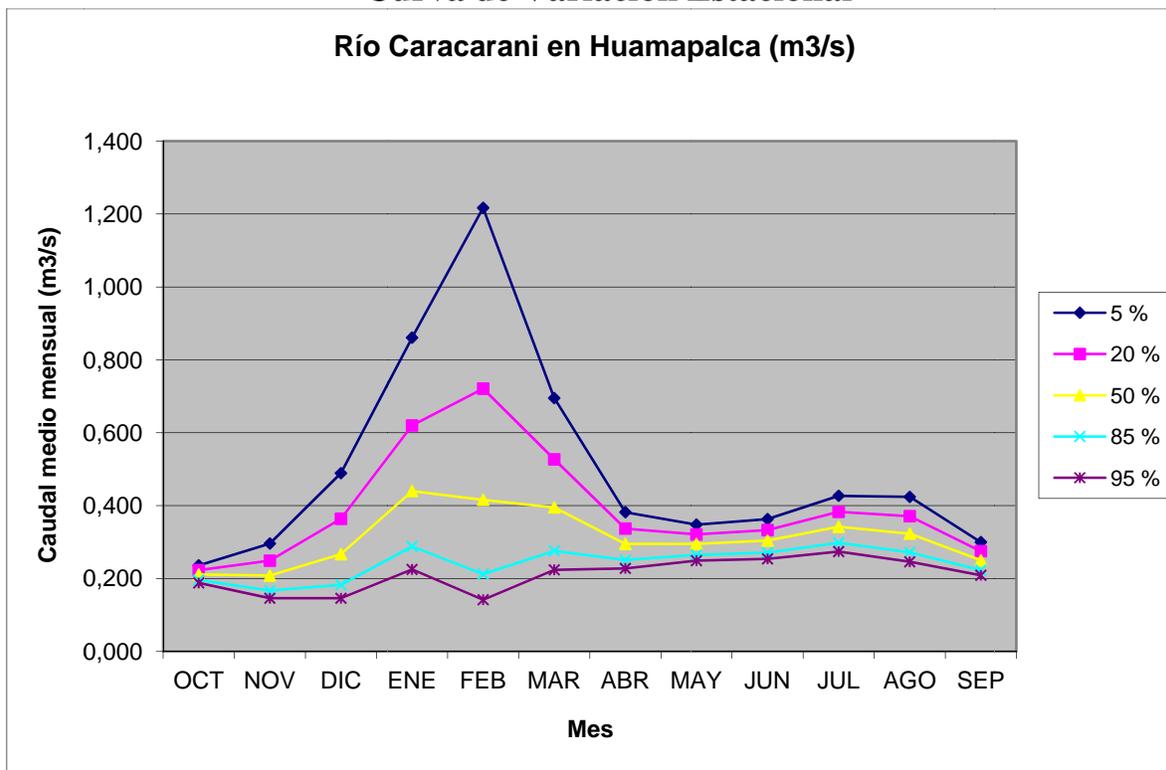


Tabla N° 01201005-2 : Río Caracarani en Humapalca (m3/s)

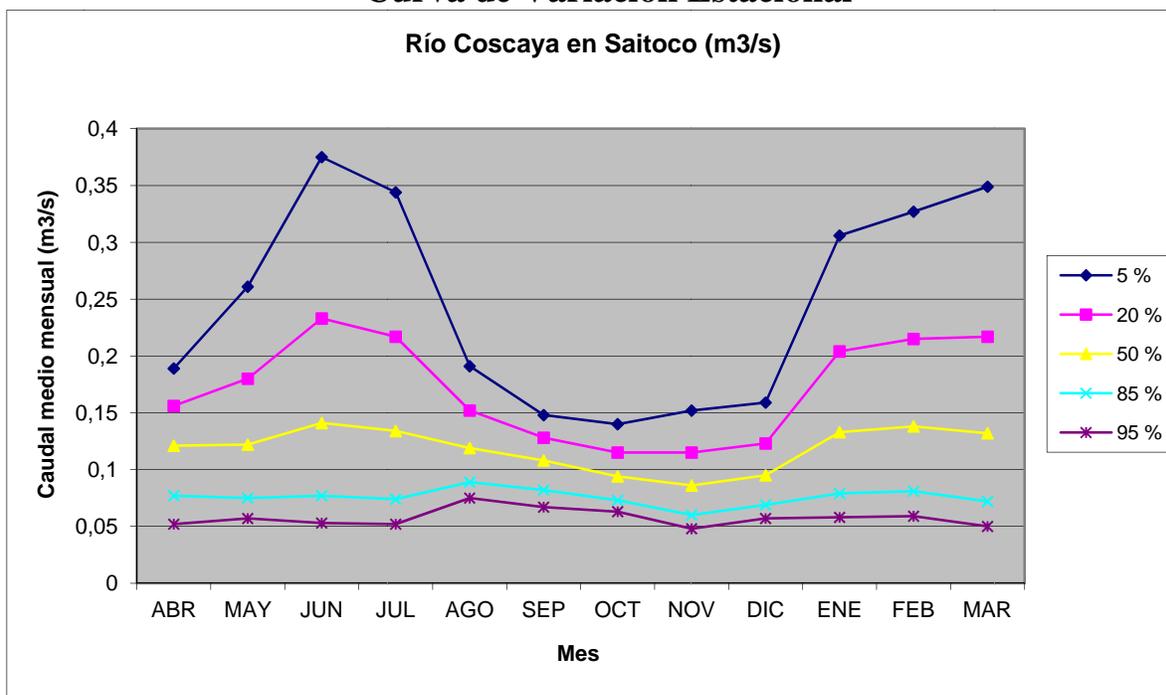
Pr_Exc	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
5 %	0,236	0,296	0,489	0,861	1,217	0,695	0,382	0,348	0,363	0,427	0,424	0,300	0,409
20 %	0,223	0,249	0,364	0,620	0,721	0,527	0,337	0,321	0,333	0,383	0,371	0,275	0,363
50 %	0,211	0,208	0,267	0,440	0,416	0,395	0,295	0,295	0,304	0,342	0,323	0,250	0,321
85 %	0,196	0,167	0,183	0,288	0,212	0,276	0,251	0,265	0,271	0,298	0,272	0,223	0,275
95 %	0,188	0,146	0,146	0,225	0,142	0,224	0,228	0,249	0,254	0,274	0,246	0,209	0,251
Dist.	LN												

**Fuente:** Actualización Recursos Hídricos para Restablecimiento de Derechos Ancestrales Indígenas I y II Regiones. DGA. Año 2001.

**Donde:** Pr\_Exc (%) corresponde a la probabilidad de excedencia, y la fila Dist. Entrega la abreviatura de la distribución de mejor ajuste para el mes correspondiente. La abreviatura corresponde a lo siguiente:

Distribución	Abreviatura
Normal	: N
Log-Normal	: LN
Log-Normal 3 parámetros	: L3
Gumbel o de Valores Extremos Tipo I	: G
Gamma 2 parámetros	: G2
Pearson Tipo III	: P3
Log-Gamma 2 parámetros	: LG
Log-Pearson tipo III	: LP

### Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 01730003-2 : Río Coscaya en Saitoco (m3/s)**

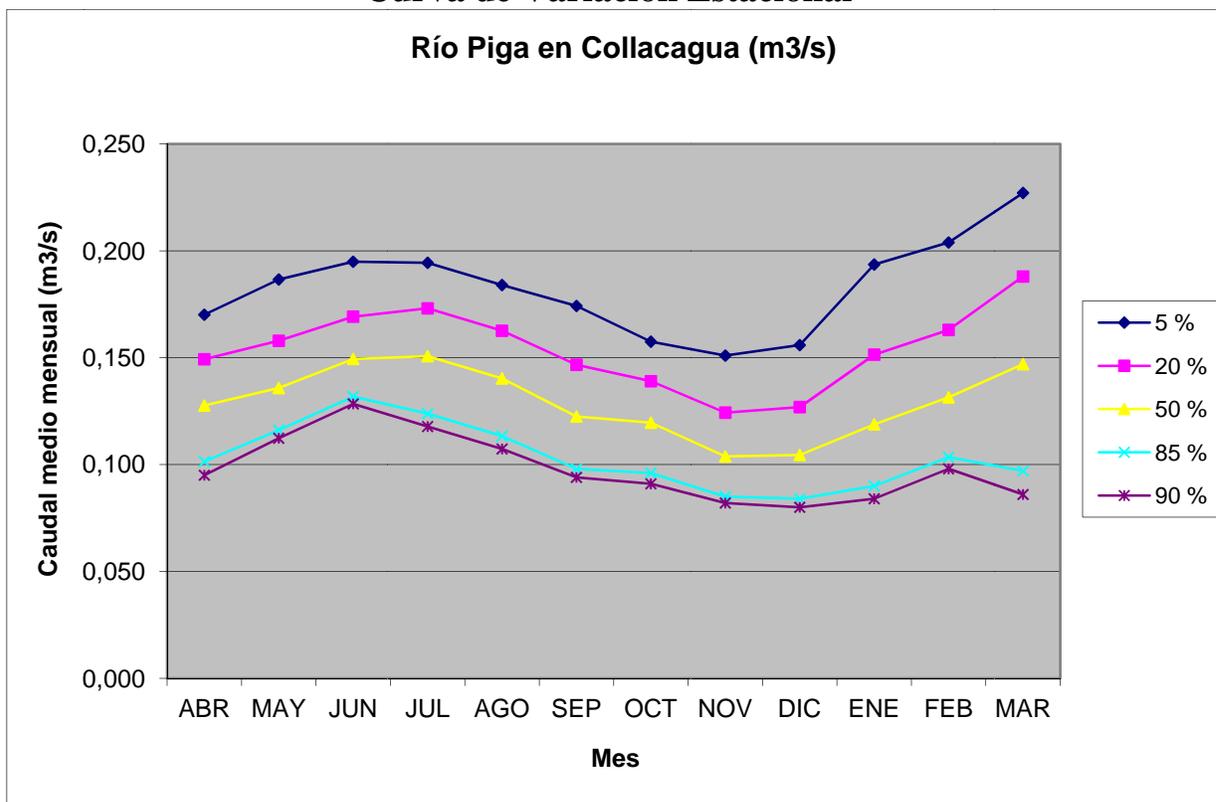
Pr_Exc	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
5 %	0,189	0,261	0,375	0,344	0,191	0,148	0,140	0,152	0,159	0,306	0,327	0,349	0,245
20 %	0,156	0,180	0,233	0,217	0,152	0,128	0,115	0,115	0,123	0,204	0,215	0,217	0,171
50 %	0,121	0,122	0,141	0,134	0,119	0,108	0,094	0,086	0,095	0,133	0,138	0,132	0,119
85 %	0,077	0,075	0,077	0,074	0,089	0,082	0,073	0,060	0,069	0,079	0,081	0,072	0,076
95 %	0,052	0,057	0,053	0,052	0,075	0,067	0,063	0,048	0,057	0,058	0,059	0,050	0,058
Dist.	N	L2	L2	L2	L2	N	L2						

**Fuente:** Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivo de calidad. Cuenca Quebrada de Tarapacá. DGA. Año 2004.

**Donde:** Pr\_Exc (%) corresponde a la probabilidad de excedencia, y la fila Dist. Entrega la abreviatura de la distribución de mejor ajuste para el mes correspondiente. La abreviatura corresponde a lo siguiente:

Distribución	Abreviatura
Normal	: N
Log-Normal 2 parámetros	: L2
Log-Normal 3 parámetros	: L3
Gumbel o de Valores Extremos Tipo I	: G
Gamma 2 parámetros	: G2
Pearson Tipo III	: P3
Log-Gamma 2 parámetros	: LG
Log-Pearson tipo III	: LP

### Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 01050002-8 : Río Piga en Collacagua (m3/s)**

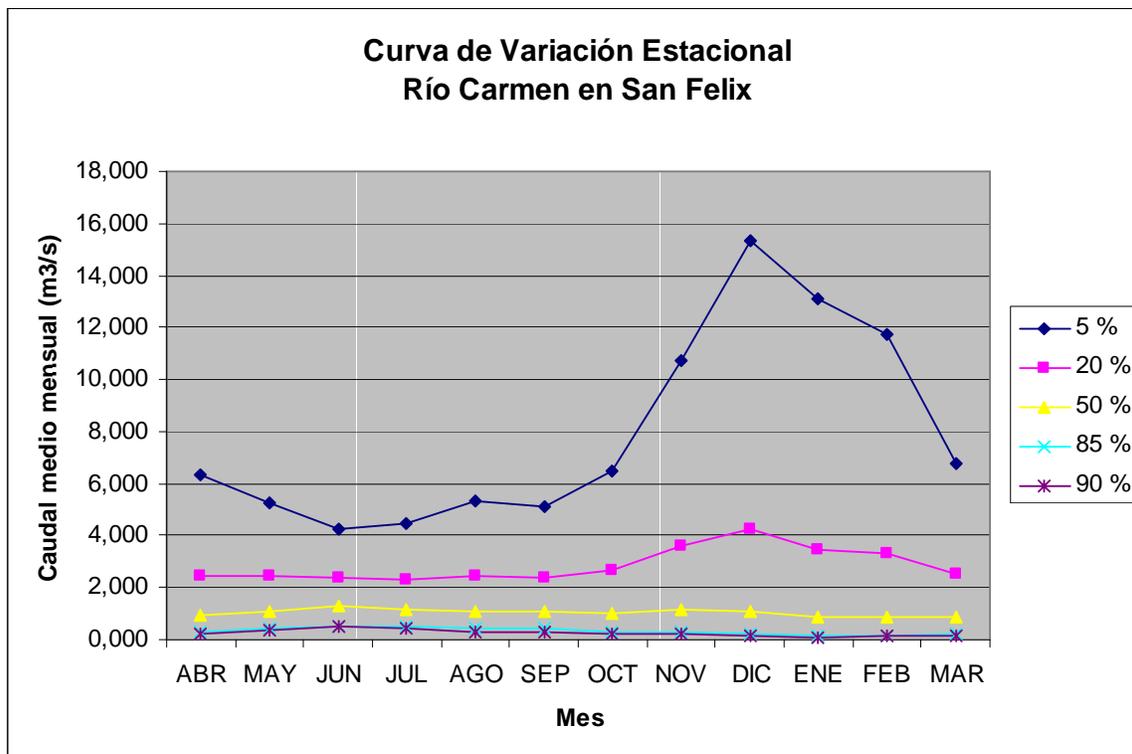
Pr_Exc	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
5 %	0,170	0,187	0,195	0,194	0,184	0,174	0,158	0,151	0,156	0,194	0,204	0,227	0,172
20 %	0,149	0,158	0,169	0,173	0,163	0,147	0,139	0,124	0,127	0,151	0,163	0,188	0,140
50 %	0,128	0,136	0,149	0,151	0,140	0,123	0,120	0,104	0,105	0,119	0,131	0,147	0,130
85 %	0,101	0,116	0,132	0,124	0,113	0,098	0,096	0,085	0,084	0,090	0,103	0,097	0,115
90 %	0,095	0,112	0,128	0,118	0,107	0,094	0,091	0,082	0,080	0,084	0,098	0,086	0,112
Dist.	N	G	G	N	N	L2	N	G	G	G	G	G	N

**Fuente:** Análisis Estadístico de Caudales en los Ríos de Chile. DGA. Año 1992.

**Donde:** Pr\_Exc (%) corresponde a la probabilidad de excedencia, y la fila Dist. Entrega la abreviatura de la distribución de mejor ajuste para el mes correspondiente. La abreviatura corresponde a lo siguiente:

Distribución	Abreviatura
Normal	: N
Log-Normal 2 parámetros	: L2
Log-Normal 3 parámetros	: L3
Gumbel o de Valores Extremos Tipo I	: G
Gamma 2 parámetros	: G2
Pearson Tipo III	: P3
Log-Gamma 2 parámetros	: LG
Log-Pearson tipo III	: LP

### Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 03421001-1: Río Carmen en san Felix (m3/s)**

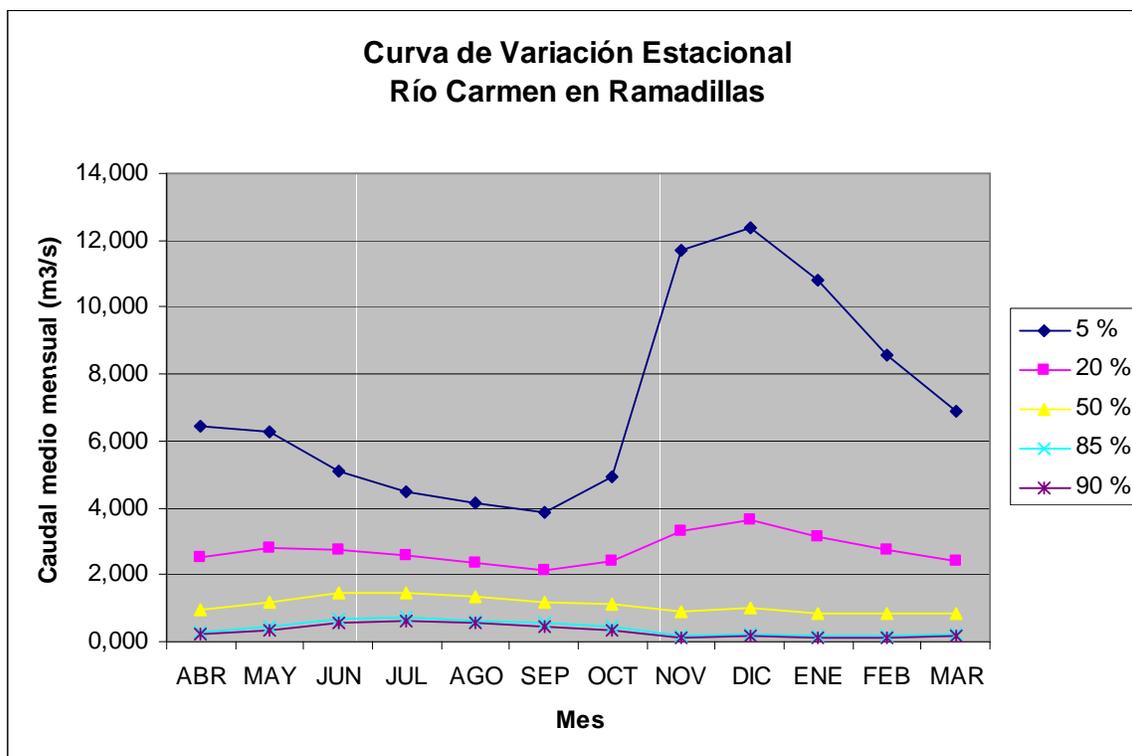
Pr_Exc	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
5 %	6,311	5,275	4,221	4,440	5,348	5,088	6,457	10,747	15,302	13,077	11,748	6,801	7,230
20 %	2,471	2,463	2,373	2,295	2,462	2,384	2,637	3,581	4,238	3,476	3,303	2,486	3,050
50 %	0,925	1,109	1,298	1,150	1,092	1,077	1,030	1,132	1,104	0,867	0,874	0,866	1,230
85 %	0,276	0,415	0,517	0,491	0,402	0,405	0,324	0,274	0,211	0,157	0,170	0,235	0,400
90 %	0,207	0,329	0,517	0,401	0,317	0,321	0,246	0,196	0,142	0,105	0,115	0,174	0,310
Dist.	Log-N	Log-N	Log-N	Log-N	Log-N	Log-N							

**Fuente:** Análisis Estadístico de Caudales en los Ríos de Chile. DGA. ByF Ingenieros Civiles. DGA. Año 1992.

**Donde:** Pr\_Exc (%) corresponde a la probabilidad de excedencia, y la fila Dist. Entrega la abreviatura de la distribución de mejor ajuste para el mes correspondiente. La abreviatura corresponde a lo siguiente:

Distribución	Abreviatura
Log-Normal	: Log-N
Log-Normal 2 parámetros	: L2
Log-Normal 3 parámetros	: L3
Gumbel o de Valores Extremos Tipo I	: G
Gamma 2 parámetros	: G2
Pearson Tipo III	: P3
Log-Gamma 2 parámetros	: LG
Log-Pearson tipo III	: LP

### Curva de Variación Estacional



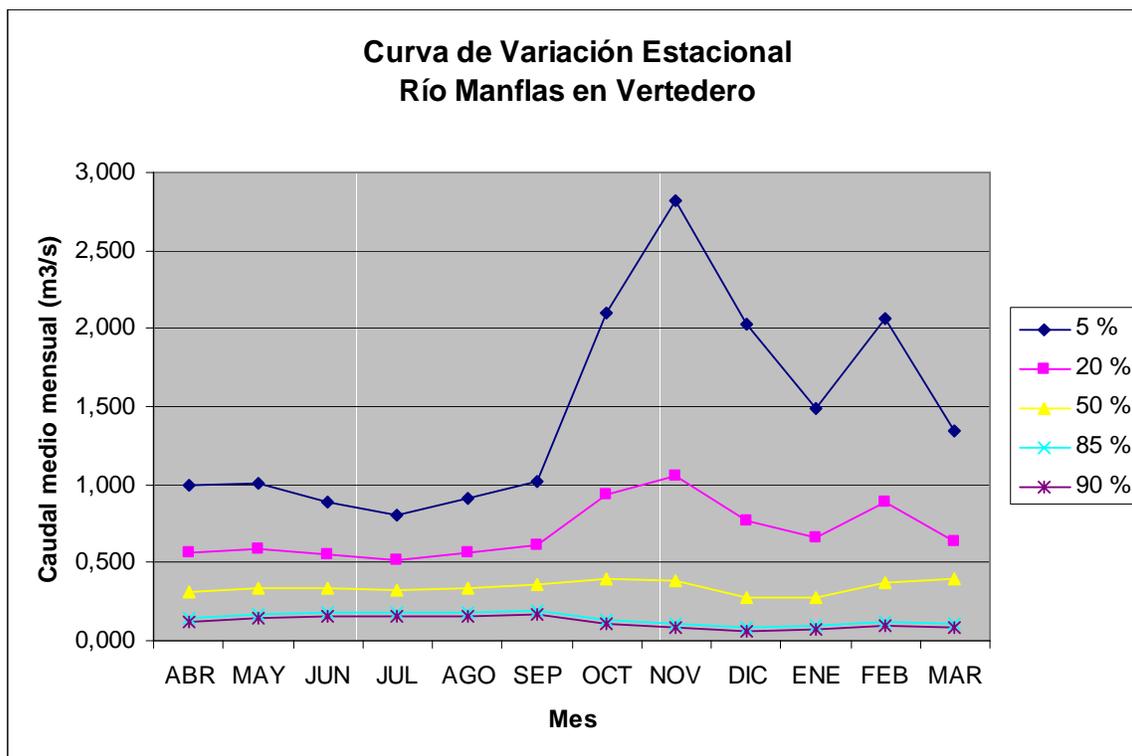
**Tabla N° 03421001-1: Río Pulido en Vertedero (m3/s)**

Pr_Exc	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
5 %	6,458	6,294	5,104	4,508	4,145	3,878	4,944	11,685	12,373	10,807	8,570	6,881	6,390
20 %	2,525	2,806	2,761	2,600	2,368	2,150	2,381	3,326	3,643	3,119	2,732	2,436	2,930
50 %	0,944	1,204	1,450	1,461	1,317	1,159	1,106	0,892	1,012	0,848	0,825	0,821	1,290
85 %	0,281	0,425	0,656	0,718	0,640	0,542	0,432	0,176	0,209	0,171	0,189	0,215	0,470
90 %	0,211	0,332	0,544	0,607	0,539	0,452	0,345	0,120	0,144	0,117	0,133	0,157	0,370
Dist.	Log-N	Log-N	Log-N	Log-N	Log-N	Log-N							

**Fuente:** Análisis Estadístico de Caudales en los Ríos de Chile. DGA. ByF Ingenieros Civiles. DGA. Año 1992.

**Donde:** Pr\_Exc (%) corresponde a la probabilidad de excedencia, y la fila Dist. Entrega la abreviatura de la distribución de mejor ajuste para el mes correspondiente. La abreviatura corresponde a lo siguiente:

Distribución	Abreviatura
Log-Normal	: Log-N
Log-Normal 2 parámetros	: L2
Log-Normal 3 parámetros	: L3
Gumbel o de Valores Extremos Tipo I	: G
Gamma 2 parámetros	: G2
Pearson Tipo III	: P3
Log-Gamma 2 parámetros	: LG
Log-Pearson tipo III	: LP



**Tabla N° 03421001-2: Río Manflas en Vertedero (m³/s)**

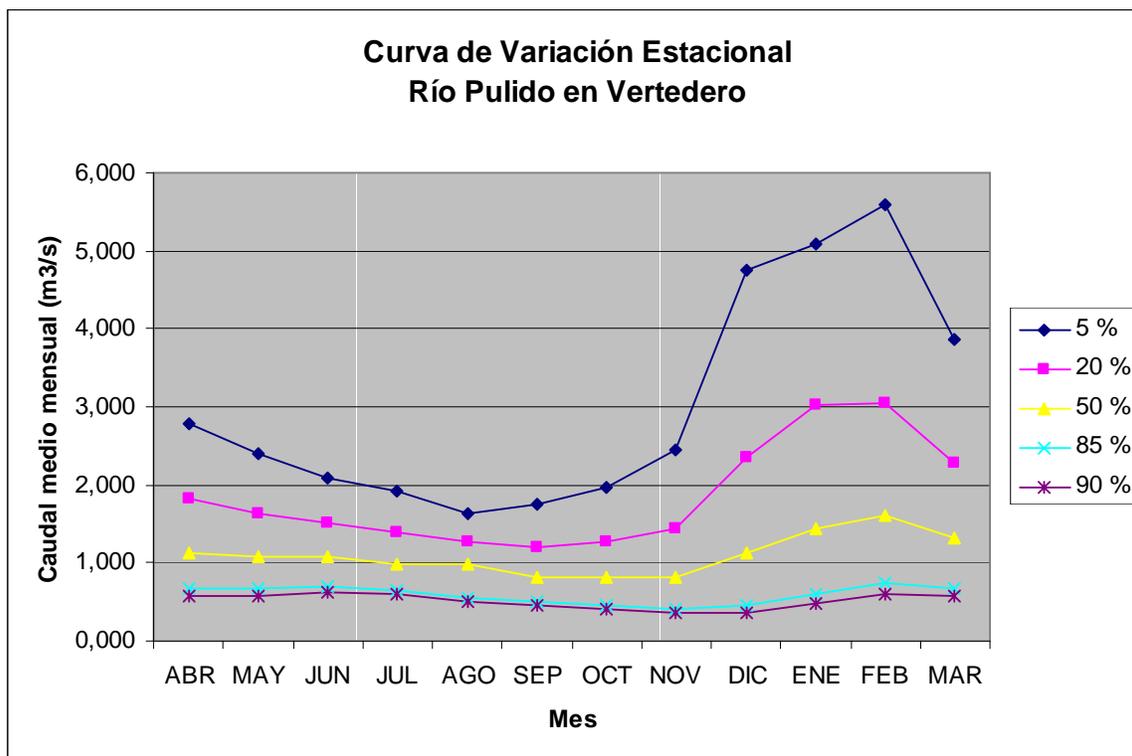
Pr_Exc	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
5 %	0,992	1,004	0,891	0,809	0,917	1,015	2,100	2,819	2,025	1,491	2,066	1,346	1,380
20 %	0,561	0,592	0,557	0,514	0,559	0,615	0,939	1,057	0,774	0,661	0,889	0,640	0,720
50 %	0,309	0,341	0,341	0,320	0,332	0,364	0,395	0,386	0,282	0,282	0,367	0,394	0,370
85 %	0,148	0,173	0,185	0,178	0,175	0,191	0,138	0,110	0,082	0,099	0,124	0,112	0,160
90 %	0,124	0,147	0,161	0,155	0,151	0,164	0,108	0,082	0,061	0,077	0,095	0,090	0,108
Dist.	Log-N												

**Fuente:** Análisis Estadístico de Caudales en los Ríos de Chile. DGA. ByF Ingenieros Civiles. DGA. Año 1992.

**Donde:** Pr\_Exc (%) corresponde a la probabilidad de excedencia, y la fila Dist. Entrega la abreviatura de la distribución de mejor ajuste para el mes correspondiente. La abreviatura corresponde a lo siguiente:

Distribución	Abreviatura
Log-Normal	: Log-N
Log-Normal 2 parámetros	: L2
Log-Normal 3 parámetros	: L3
Gumbel o de Valores Extremos Tipo I	: G
Gamma 2 parámetros	: G2
Pearson Tipo III	: P3
Log-Gamma 2 parámetros	: LG
Log-Pearson tipo III	: LP

### Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 03414001-4: Río Pulido en Vertedero (m3/s)**

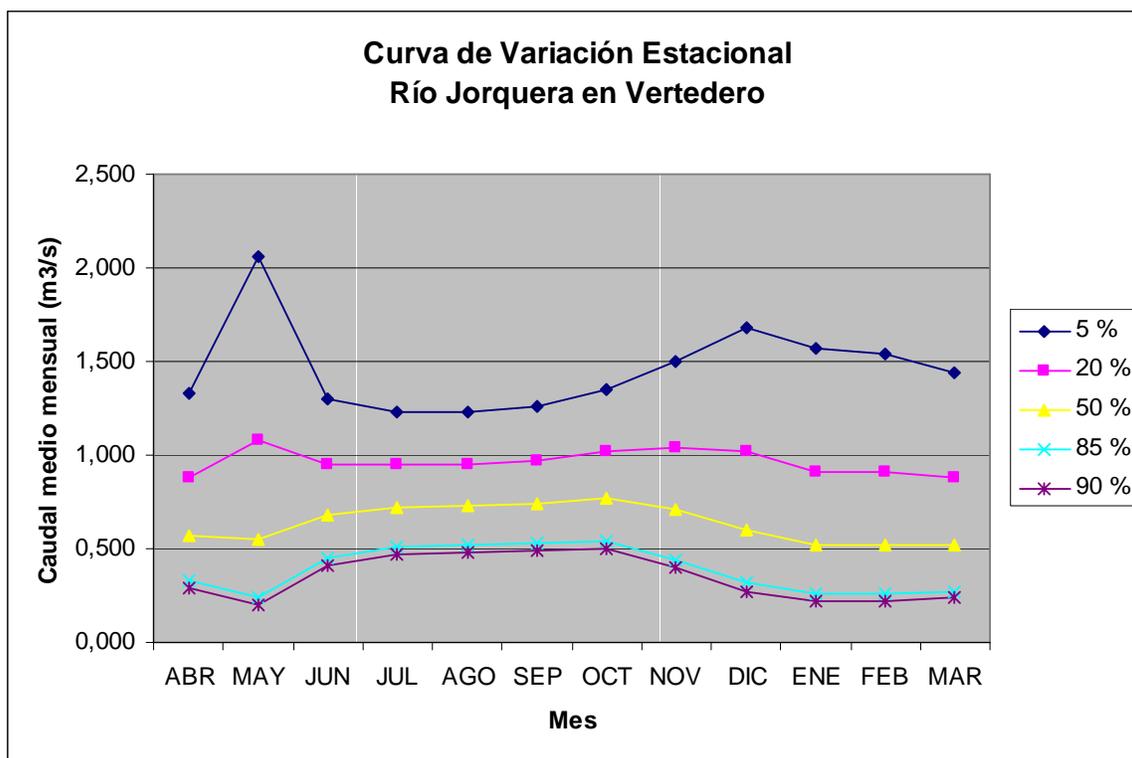
Pr_Exc	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
5 %	2,791	2,398	2,091	1,913	1,623	1,748	1,965	2,444	4,762	5,080	5,584	3,855	2,940
20 %	1,814	1,630	1,508	1,385	1,278	1,211	1,273	1,434	2,348	3,030	3,040	2,292	1,870
50 %	1,133	1,086	1,071	0,988	0,981	0,825	0,808	0,821	1,120	1,451	1,608	1,330	0,808
85 %	0,662	0,661	0,703	0,651	0,558	0,515	0,452	0,413	0,450	0,595	0,734	0,680	0,452
90 %	0,580	0,587	0,636	0,590	0,500	0,450	0,404	0,351	0,362	0,481	0,609	0,580	0,570
Dist.	Log-N												

**Fuente:** Análisis Estadístico de Caudales en los Ríos de Chile. DGA. ByF Ingenieros Civiles. DGA. Año 1992.

**Donde:** Pr\_Exc (%) corresponde a la probabilidad de excedencia, y la fila Dist. Entrega la abreviatura de la distribución de mejor ajuste para el mes correspondiente. La abreviatura corresponde a lo siguiente:

Distribución	Abreviatura
Log-Normal	: Log-N
Log-Normal 2 parámetros	: L2
Log-Normal 3 parámetros	: L3
Gumbel o de Valores Extremos Tipo I	: G
Gamma 2 parámetros	: G2
Pearson Tipo III	: P3
Log-Gamma 2 parámetros	: LG
Log-Pearson tipo III	: LP

### Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 03404001-K: Río Jorquera en Vertedero (m3/s)**

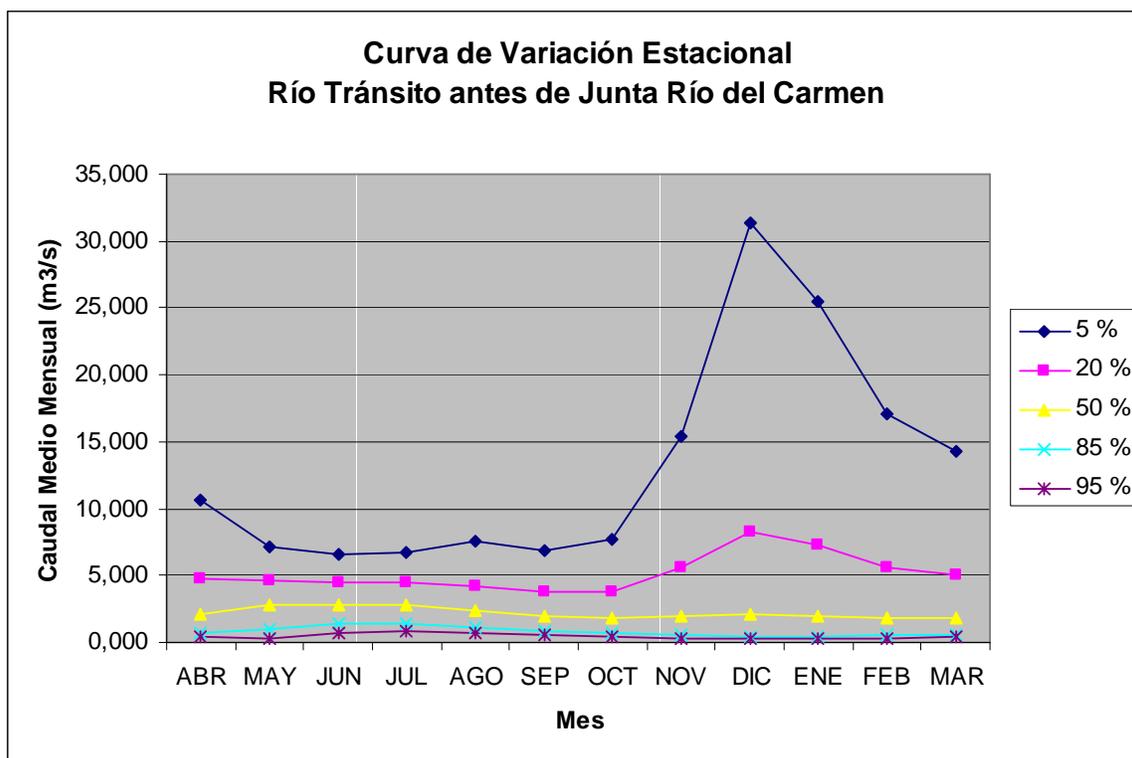
Pr_Exc	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
5 %	1,334	2,056	1,297	1,234	1,231	1,257	1,350	1,504	1,678	1,572	1,545	1,440	1,360
20 %	0,882	1,083	0,948	0,948	0,951	0,970	1,025	1,043	1,017	0,915	0,908	0,876	0,960
50 %	0,571	0,553	0,682	0,720	0,726	0,739	0,769	0,710	0,602	0,519	0,520	0,521	0,660
85 %	0,334	0,242	0,455	0,512	0,520	0,529	0,539	0,443	0,316	0,259	0,262	0,274	0,420
90 %	0,295	0,199	0,413	0,473	0,481	0,489	0,496	0,396	0,271	0,219	0,223	0,236	0,380
Dist.	Log-N												

**Fuente:** Análisis Estadístico de Caudales en los Ríos de Chile. DGA. ByF Ingenieros Civiles. DGA. Año 1992.

**Donde:** Pr\_Exc (%) corresponde a la probabilidad de excedencia, y la fila Dist. Entrega la abreviatura de la distribución de mejor ajuste para el mes correspondiente. La abreviatura corresponde a lo siguiente:

Distribución	Abreviatura
Log-Normal	: Log-N
Log-Normal 2 parámetros	: L2
Log-Normal 3 parámetros	: L3
Gumbel o de Valores Extremos Tipo I	: G
Gamma 2 parámetros	: G2
Pearson Tipo III	: P3
Log-Gamma 2 parámetros	: LG
Log-Pearson tipo III	: LP

### Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 038006001-5: Río Tránsito Antes Junta Río Carmen (m3/s)**

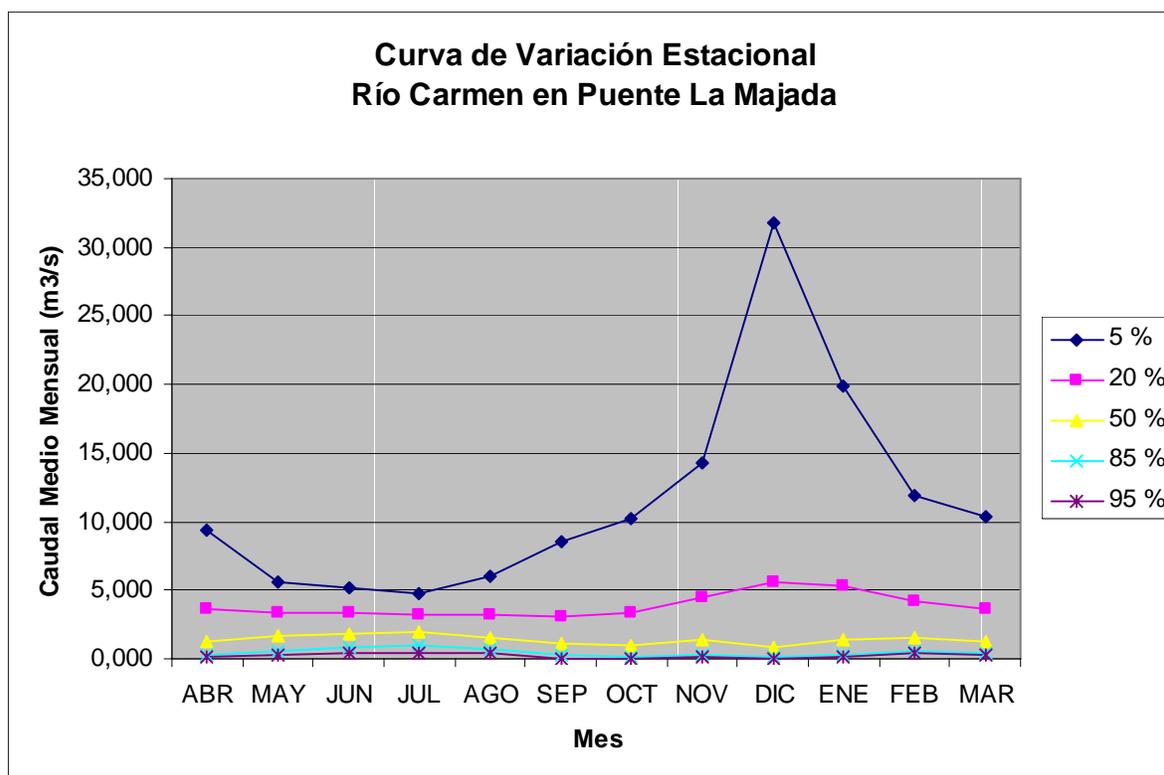
Pr_Exc	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
5 %	10,578	7,165	6,619	6,759	7,493	6,867	7,766	15,354	31,399	25,507	17,049	14,331	13,074
20 %	4,823	4,672	4,486	4,412	4,259	3,736	3,840	5,531	8,204	7,221	5,602	5,052	5,153
50 %	2,106	2,750	2,842	2,731	2,358	1,976	1,837	1,899	2,069	1,994	1,802	1,772	2,178
85 %	0,743	1,043	1,382	1,384	1,138	0,901	0,741	0,509	0,444	0,487	0,511	0,576	0,822
95 %	0,392	0,268	0,719	0,847	0,742	0,569	0,435	0,235	0,223	0,264	0,285	0,352	0,444
Dist.	L3	G	G	L3	L2	L2	L2	L2	L3	L3	L3	L3	

**Fuente:** Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivo de calidad. Cuenca del Río Huasco. DGA. Año 2004.

**Donde:** Pr\_Exc (%) corresponde a la probabilidad de excedencia, y la fila Dist. Entrega la abreviatura de la distribución de mejor ajuste para el mes correspondiente. La abreviatura corresponde a lo siguiente:

Distribución	Abreviatura
Normal	: N
Log-Normal 2 parámetros	: L2
Log-Normal 3 parámetros	: L3
Gumbel o de Valores Extremos Tipo I	: G
Gamma 2 parámetros	: G2
Pearson Tipo III	: P3
Log-Gamma 2 parámetros	: LG
Log-Pearson tipo III	: LP

## Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 03815002-2 : Río Carmen en Puente La Majada (m3/s)**

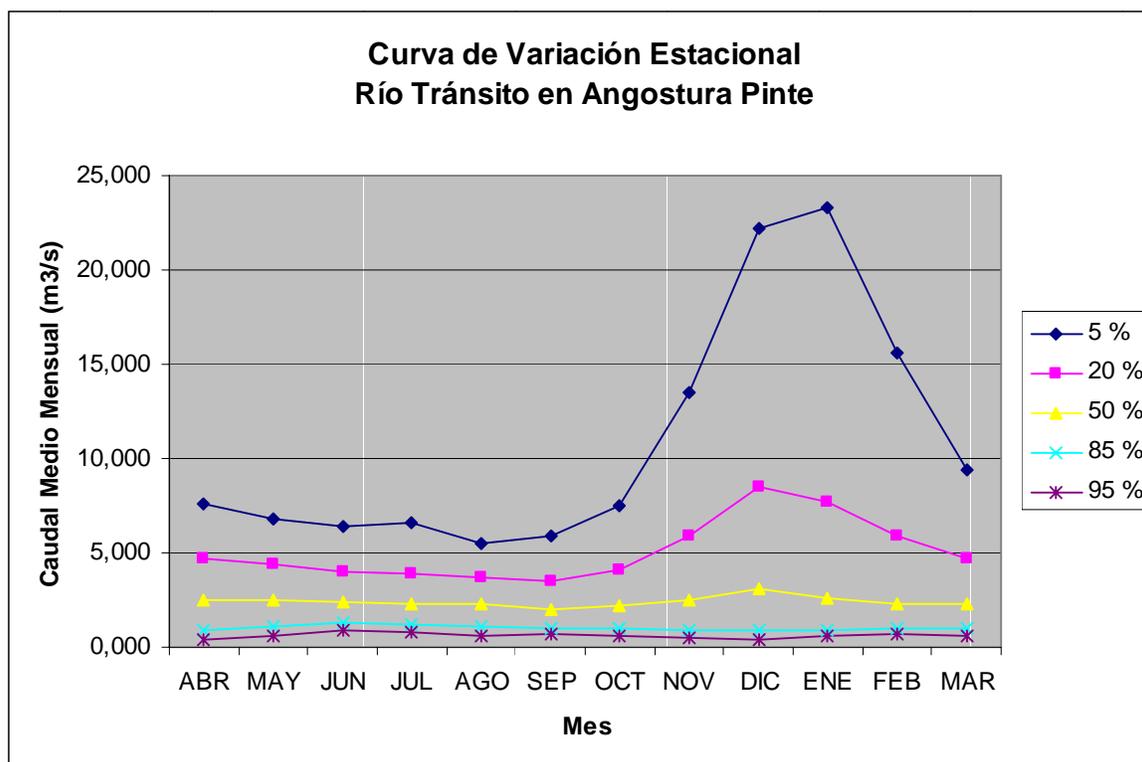
Pr_Exc	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
5 %	9,354	5,569	5,167	4,732	6,086	8,493	10,184	14,349	31,748	19,841	11,902	10,304	11,477
20 %	3,645	3,349	3,296	3,189	3,158	3,148	3,344	4,496	5,587	5,379	4,188	3,635	3,868
50 %	1,307	1,744	1,877	1,999	1,579	1,070	1,016	1,334	0,906	1,371	1,532	1,281	1,418
85 %	0,304	0,614	0,787	0,943	0,660	0,230	0,202	0,299	0,096	0,255	0,593	0,425	0,451
95 %	0,083	0,281	0,420	0,463	0,387	0,055	0,056	0,124	0,026	0,095	0,421	0,264	0,223
Dist.	L3	G2	G2	G	L3	L3	L3	L2	L2	L2	L3	L3	

**Fuente:** Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivo de calidad. Cuenca del Río Huasco. DGA. Año 2004.

**Donde:** Pr\_Exc (%) corresponde a la probabilidad de excedencia, y la fila Dist. Entrega la abreviatura de la distribución de mejor ajuste para el mes correspondiente. La abreviatura corresponde a lo siguiente:

Distribución	Abreviatura
Normal	: N
Log-Normal 2 parámetros	: L2
Log-Normal 3 parámetros	: L3
Gumbel o de Valores Extremos Tipo I	: G
Gamma 2 parámetros	: G2
Pearson Tipo III	: P3
Log-Gamma 2 parámetros	: LG
Log-Pearson tipo III	: LP

### Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 03804002-2 : Río Tránsito en Angostura Pinte (m3/s)**

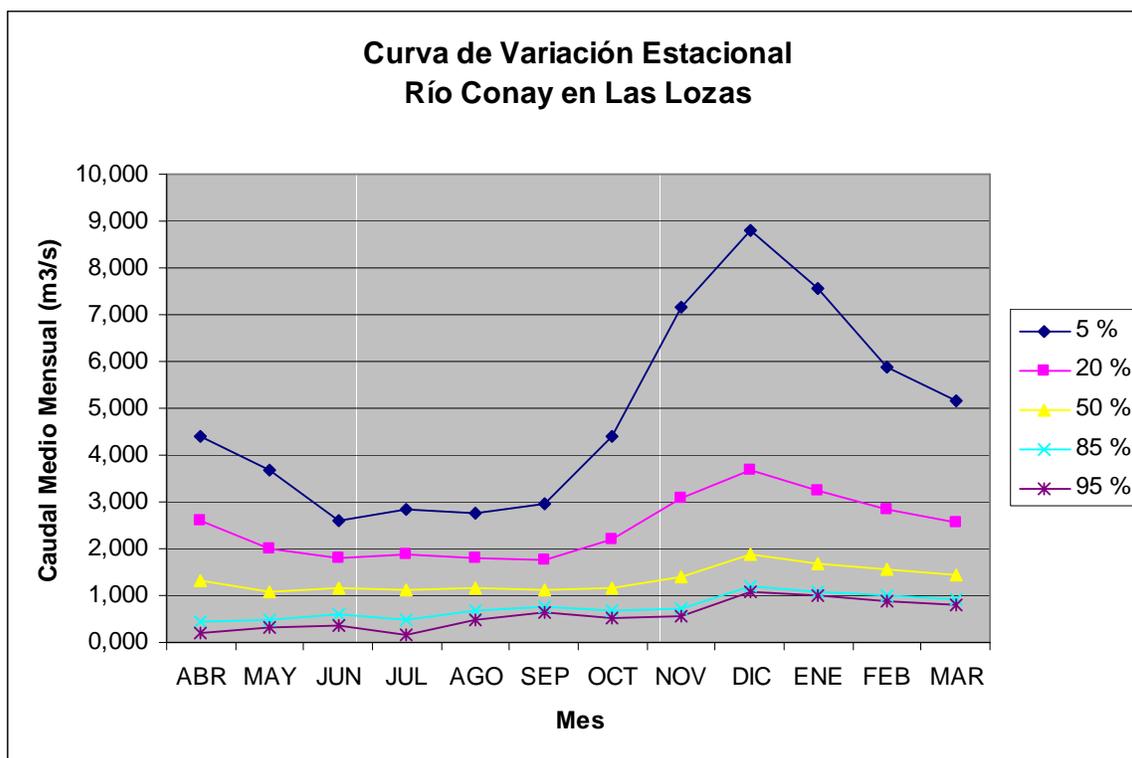
Pr_Exc	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
5 %	7,600	6,773	6,441	6,568	5,545	5,892	7,526	13,514	22,176	23,333	15,648	9,363	10,865
20 %	4,657	4,382	4,004	3,919	3,702	3,467	4,120	5,914	8,460	7,719	5,907	4,748	5,083
50 %	2,497	2,550	2,419	2,282	2,255	1,990	2,192	2,490	3,085	2,629	2,329	2,333	2,241
85 %	0,932	1,113	1,280	1,173	1,071	1,004	1,008	0,858	0,890	0,934	0,969	0,972	1,017
95 %	0,450	0,614	0,868	0,793	0,633	0,672	0,639	0,459	0,429	0,643	0,703	0,581	0,624
Dist.	G2	G2	L3	L2	G2	L2	L2	L2	L2	L3	L3	L2	

**Fuente:** Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivo de calidad. Cuenca del Río Huasco. DGA. Año 2004.

**Donde:** Pr\_Exc (%) corresponde a la probabilidad de excedencia, y la fila Dist. Entrega la abreviatura de la distribución de mejor ajuste para el mes correspondiente. La abreviatura corresponde a lo siguiente:

Distribución	Abreviatura
Normal	: N
Log-Normal 2 parámetros	: L2
Log-Normal 3 parámetros	: L3
Gumbel o de Valores Extremos Tipo I	: G
Gamma 2 parámetros	: G2
Pearson Tipo III	: P3
Log-Gamma 2 parámetros	: LG
Log-Pearson tipo III	: LP

## Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 03802001-3 : Río Conay en Las Lozas (m3/s)**

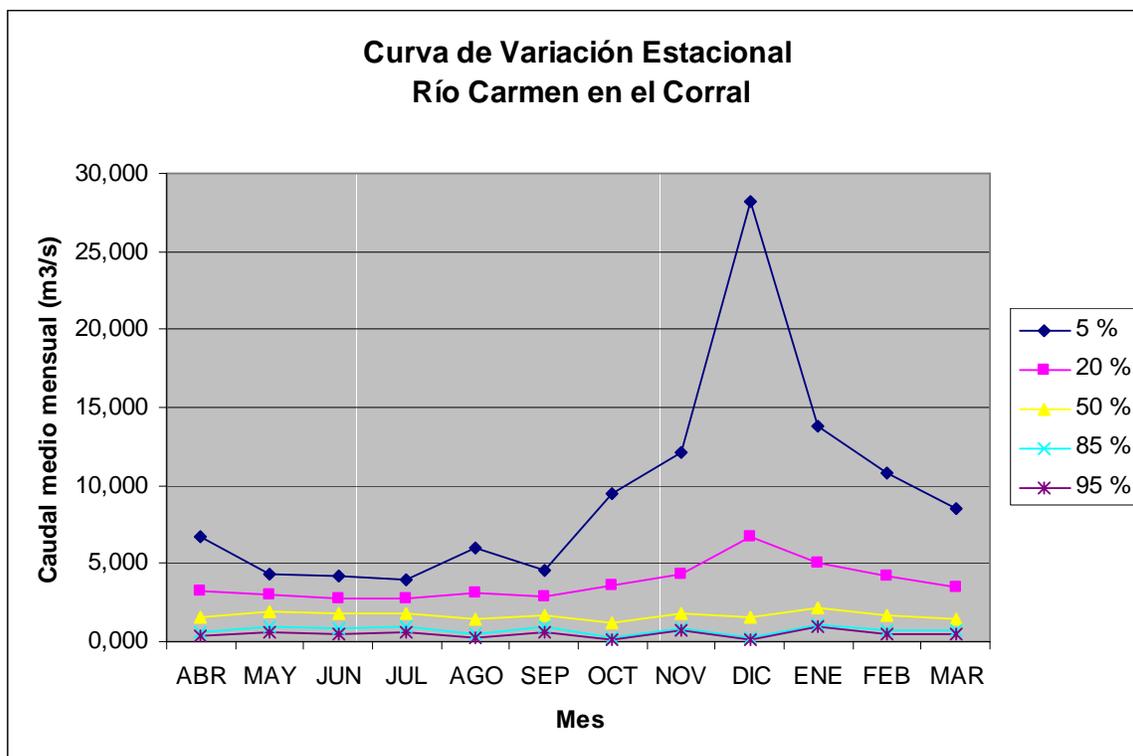
Pr_Exc	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
5 %	4,400	3,681	2,620	2,838	2,751	2,958	4,416	7,154	8,818	7,564	5,874	5,157	4,853
20 %	2,595	2,012	1,802	1,877	1,800	1,777	2,203	3,065	3,672	3,224	2,857	2,561	2,454
50 %	1,309	1,069	1,172	1,136	1,155	1,130	1,173	1,415	1,864	1,667	1,576	1,434	1,342
85 %	0,432	0,490	0,612	0,478	0,668	0,745	0,663	0,720	1,210	1,091	1,006	0,918	0,753
95 %	0,187	0,310	0,358	0,180	0,485	0,630	0,534	0,569	1,088	0,981	0,875	0,797	0,583
Dist.	G2	L2	G	G	L2	L3							

**Fuente:** Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivo de calidad. Cuenca del Río Huasco. DGA. Año 2004.

**Donde:** Pr\_Exc (%) corresponde a la probabilidad de excedencia, y la fila Dist. Entrega la abreviatura de la distribución de mejor ajuste para el mes correspondiente. La abreviatura corresponde a lo siguiente:

Distribución	Abreviatura
Normal	: N
Log-Normal 2 parámetros	: L2
Log-Normal 3 parámetros	: L3
Gumbel o de Valores Extremos Tipo I	: G
Gamma 2 parámetros	: G2
Pearson Tipo III	: P3
Log-Gamma 2 parámetros	: LG
Log-Pearson tipo III	: LP

## Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 03814003-5 : Río Carmen en el Corral (m3/s)**

Pr_Exc	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
5 %	6,669	4,333	4,147	3,930	5,964	4,615	9,495	12,062	28,190	13,856	10,835	8,517	9,384
20 %	3,222	2,964	2,820	2,706	3,091	2,831	3,598	4,331	6,774	5,051	4,176	3,465	3,752
50 %	1,504	1,909	1,798	1,762	1,489	1,697	1,252	1,745	1,516	2,113	1,686	1,486	1,663
85 %	0,589	0,971	0,889	0,924	0,522	0,904	0,278	0,859	0,232	1,110	0,720	0,678	0,723
95 %	0,339	0,546	0,477	0,544	0,225	0,624	0,070	0,702	0,072	0,933	0,528	0,509	0,464
Dist.	L2	G	G	G	L3	L2	L3	L3	L3	L3	L3	L3	L3

**Fuente:** Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivo de calidad. Cuenca del Río Huasco. DGA. Año 2004.

**Donde:** Pr\_Exc (%) corresponde a la probabilidad de excedencia, y la fila Dist. Entrega la abreviatura de la distribución de mejor ajuste para el mes correspondiente. La abreviatura corresponde a lo siguiente:

Distribución	Abreviatura
Normal	: N
Log-Normal 2 parámetros	: L2
Log-Normal 3 parámetros	: L3
Gumbel o de Valores Extremos Tipo I	: G
Gamma 2 parámetros	: G2
Pearson Tipo III	: P3
Log-Gamma 2 parámetros	: LG
Log-Pearson tipo III	: LP